

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Factibilidad de un plan de minado en la cantera
Chinchin del centro poblado Otuzco, distrito
de Baños del Inca**

Victor Hugo Fernández Sánchez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Benjamín Manuel Ramos Aranda

AGRADECIMIENTO

Quiero emplear estas líneas para expresar mi profundo agradecimiento a cada una de las personas que fueron parte de mi vida hasta el término de esta etapa, buenas y malas experiencias vividas, pero que son el resultado de quien soy el día de hoy.

A mi abuela que, con su cariño maternal, su apoyo constante y desinteresado ha despertado en mí los más bellos sentimientos de gratitud y amor en reciprocidad.

A mis hermanos, quienes han impulsado en mí la consigna de representar para ellos un ejemplo.

A mis tíos, quienes son parte importante en mi formación como persona, forjadores de mi carácter.

A mi asesor de tesis, Ing. Benjamín Manuel Ramos Aranda, quien, con su amplia experiencia, valioso tiempo, su comprensión y paciencia ha colaborado activamente en la culminación de esta meta personal.

A mis amigos, entrañables personas que me han demostrado su cariño sincero y apoyo incondicional más allá de que no compartamos un vínculo sanguíneo.

DEDICATORIA

A Dios, quien me ha bendecido con su fuerza y entereza para no desfallecer y dar alcance a mis metas personales y profesionales.

A mi familia, por haber sido mi apoyo a lo largo de mi vida y a lo largo de toda mi carrera universitaria.

Y, de manera muy especial, a ese ser maravilloso que con su sola existencia le da razones a mi vivir, gracias por ser mi amiga, mi confidente, mi cómplice, mi ejemplo, mi impulso, gracias por alentar mi crecimiento, por mostrarme tu amor, por ser como eres, y sobre todo, gracias por jamás cortarme las alas, te lo dedico a ti mamá, porque mi vida y mi corazón te pertenece. Te amo.

ÍNDICE

Asesor	ii
Agradecimiento	iii
Dedicatoria	iv
Índice.....	v
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	ix
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción.....	xiii
CAPÍTULO I.....	14
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema	14
1.1.1. Problema general	15
1.1.2. Problemas específicos	15
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general	15
1.2.2. Objetivos específicos.....	15
1.3. Justificación	15
1.3.1. Justificación práctica	15
1.3.2. Justificación metodológica.....	16
1.4. Hipótesis y descripción de variables	16
1.4.1. Hipótesis general.....	16
1.4.2. Hipótesis específicas.....	16
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes	18
2.1.1. Antecedentes internacionales	18
2.1.2. Antecedentes nacionales	19
2.1.3. Antecedentes locales	19
2.2. Bases teóricas	21
2.2.1. Cantera.....	21
2.2.2. Definición de caliza.....	21
2.2.3. Definición de plan de minado	23

2.2.4. Ciclo de minado.....	23
2.2.5. Mediciones de los parámetros.....	24
2.2.6. Aspectos generales de la cantera Chinchin	30
2.2.7. Geología.....	33
2.2.7.1. Geología regional	36
2.2.7.2. Geología local	37
2.2.7.3. Geología estructural	39
2.2.8. Mecánica de rocas	41
2.3. Definición de términos básicos	42
CAPÍTULO III.....	44
METODOLOGÍA	44
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	44
3.1.1. Método.....	44
3.1.2. Alcance	44
3.2. Diseño de la investigación	45
3.3. Población y muestra	45
3.3.1. Población	45
3.3.2. Muestra	45
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	45
3.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	45
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos	46
CAPÍTULO IV.....	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1. Evaluación geomecánica de la cantera Chinchin.....	47
4.1.1. Análisis geomecánico, según Bieniawski.....	47
4.1.2. Análisis geomecánico con el software Slide	54
4.2. Determinación del método de explotación de la cantera Chinchin.....	55
4.2.1. Método de explotación	55
4.2.2. Diseño del tajo.....	56
4.3. Plan de minado de la cantera Chinchin.....	57
4.3.1. Recurso	57
4.3.2. Reservas	58
4.3.3. Ciclo de minado.....	59
4.3.4. Criterios para el diseño y el método de minado.....	66

4.3.5. Diseño geométrico y dimensiones de la mina	66
4.3.6. Diseño de perforación y voladura	69
4.3.7. Desarrollo y construcción	74
4.4. Discusión	81
Conclusiones.....	82
Lista de referencias	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	17
Tabla 2. Composición química de caliza, muestra 15F-RNM-126.....	22
Tabla 3. Clasificación de caliza según su pureza.....	22
Tabla 4. Composición química de caliza de la formación Cajamarca	23
Tabla 5. Propiedades químicas del carbonato de calcio disponible comercialmente	23
Tabla 6. Parámetros para medir la resistencia del macizo rocoso	25
Tabla 7. Parámetro de índice RQD	25
Tabla 8. Criterios para la valoración de la resistencia de discontinuidades	26
Tabla 9. Criterios para la valoración de la alterabilidad de la matriz rocosa por efecto del agua	26
Tabla 10. Clasificación del macizo rocoso	27
Tabla 11. Coordenadas de la cantera Chinchin	31
Tabla 12. Acceso a la cantera Chinchin	31
Tabla 13. Tipo de discontinuidad del macizo rocoso de la cantera Chinchin ...	48
Tabla 14. Caracterización del macizo rocoso de la cantera Chinchin	49
Tabla 15. Cálculo RMR en la estratificación utilizando la tabla de Bieniawski .	52
Tabla 16. Cálculo RMR de la cantera Chinchin.....	53
Tabla 17. Calidad de la roca caliza de la cantera Chinchin.....	54
Tabla 18. Producción estimada de óxido de calcio	58
Tabla 19. Especificaciones de retroexcavadora cargadora 430E IT – Cat.....	63
Tabla 20. Factores operativos de la cantera Chinchin	67
Tabla 21. Ángulo de talud y receso según altura de bancos.....	67
Tabla 22. Datos requeridos para diámetro de barrenos	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Terminología utilizada en una mina a cielo abierto	27
Figura 2. Proceso productivo de la roca caliza.....	28
Figura 3. Proceso productivo de la cal	30
Figura 4. Imagen satelital de cantera Chinchin	31
Figura 5. Imagen satelital con las rutas de acceso a la cantera Chinchin	32
Figura 6. Vegetación existente en la cantera, toda la vegetación ocurre en la capa de topsoil	33
Figura 7. Cordillera de los andes que se observan desde la cantera Chinchin	34
Figura 8. Planicies presentes en la cantera Chinchin.....	34
Figura 9. Lomadas presentes en la cantera Chinchin	35
Figura 10. Escarpas presentes en la cantera	35
Figura 11. Quebrada presente en la cantera.....	36
Figura 12. Dolina presente en la cantera	36
Figura 13. Formación Cajamarca (cantera Chinchin), donde se observan calizas de color gris, con cobertura de suelo rojizo denominado terra rosa originado por meteorización	37
Figura 14. Deposito eluvial, se observa de color gris	38
Figura 15. Deposito coluvial	38
Figura 16. Deposito aluvial	39
Figura 17. Deposito fluvio – aluvial.....	39
Figura 18. Diaclasas principales de la formación Cajamarca	40
Figura 19. Discontinuidades del macizo rocoso	48
Figura 20. Espaciado y abertura de roca de la cantera Chinchin	49
Figura 21. Uso de picota para determinar la resistencia a la compresión uniaxial (MPa).....	49
Figura 22. Forma de la roca de la cantera Chinchin.....	50
Figura 23. Número de discontinuidades de la cantera Chinchin	51
Figura 24. Análisis de estabilidad de los bancos del talud	54
Figura 25. Caliza micrítica perteneciente a la formación Cajamarca.....	57
Figura 26. Estratos de calizas uniformes presentes en la cantera Chinchin ...	57
Figura 27. Cubicación calculada en el programa Arcgis.	59
Figura 28. Perfiles elaborados en la zona a explotar.	59

Figura 29. Iniciación correcta con ANFO.....	61
Figura 30. Cordón detonante y ANFO.....	62
Figura 31. Retroexcavadora cargadora 416F2-Cat.....	64
Figura 32. Perforadora AirROC D35.	64
Figura 33. Retroexcavadora cargadora 416F2-Cat.....	65
Figura 34. Especificaciones de volvo FMX 8x4R.	65
Figura 35. Ángulo del talud de banco, cantera Chinchin.	68
Figura 36. Banqueta diseñada en la cantera.....	69
Figura 37. Malla de perforación.....	71
Figura 38. Salida en paralelo de una malla cuadrada	71
Figura 39. Diseño de los taladros en el proyecto	73
Figura 40. Diseño de galpones en la cantera.....	76
Figura 41. Principal acceso a la cantera	77
Figura 42. Diseño referencial de hornos	78
Figura 43. Plano de las instalaciones de la cantera Chinchin	80

RESUMEN

Cajamarca es una de las regiones con mayor potencial minero; en el distrito de Baños del Inca existen diversas canteras de caliza, que operan de forma informal y empírica, por ello se requiere operar con un plan de minado para que realicen una explotación conforme a ley, y se pueda satisfacer la demanda en las diversas industrias. En este sentido, la presente investigación se planteó como objetivo principal evaluar la factibilidad de minado de la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca. El método del estudio es descriptivo, de alcance descriptivo-explicativo, y de diseño no experimental, de corte transversal; la muestra fue el yacimiento no metálico de caliza en la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca. Los resultados muestran que la cantera está conformada por rocas sedimentarias (calizas) pertenecientes a la formación Cajamarca, se determinó que el RQD = 56, y según los parámetros de Bieniawski (1), el macizo rocoso es de calidad regular, con un RMR = 60; asimismo, el método de explotación a emplear en la cantera sería a tajo abierto mediante bancos de 5 metros de altura, con un ángulo de talud: 70°, altura de banquetas de 1.2 metros, diámetro de barrenos de 0.076 metros. Se concluye que es factible la explotación de la cantera Chinchin, debido a que a partir de la caracterización del macizo rocoso se determinó que es de regular calidad y presenta más de 90% de potencial para la obtención de cal, dicho insumo es uno de los más demandados debido a su importancia para la industria minera, constructiva, agrícola y sanitaria.

Palabras claves: explotación de canteras, plan de minado, RMR, RQD

ABSTRACT

Cajamarca is one of the regions with the greatest mining potential; In the district of Baños del Inca there are various limestone quarries, which operate informally and empirically, therefore it is necessary to operate with a mining plan to carry out an exploitation according to law, and the demand can be satisfied in the various industries. In this sense, the main objective of this research was to evaluate the feasibility of mining the Chinchin quarry of the town center Otuzco, in the district of Baños del Inca. The study method is descriptive, descriptive explanatory in scope, and has a non-experimental cross-sectional design; The sample was the non-metallic limestone deposit in the Chinchin quarry of the populated center Otuzco, in the district of Baños del Inca. The results show that the quarry is made up of sedimentary rocks (limestones) belonging to the Cajamarca formation, it was determined that the RQD = 56, and according to the parameters of Bieniawski (1), the rocky massif is of regular quality, with an RMR = 60; Likewise, the exploitation method to be used in the quarry would be open pit using 5 meter high benches, with a slope angle: 70°, bench height of 1.2 m, hole diameter of 0.076 m. It is concluded that the exploitation of the Chinchin quarry is feasible, because from the characterization of the rocky massif it was determined that it is of regular quality and has more than 90% potential for obtaining lime, said input is one of the most in demand due to its importance for the mining, construction, agricultural and sanitary industries.

Keywords: mining plan, quarrying, RMR, RQD

INTRODUCCIÓN

Los recursos minerales no metálicos se usan desde tiempos antiguos, ya que, cuentan con propiedades necesarias para la producción de diversos productos finales. En el Perú se produce más de treinta tipos de minerales no metálicos; en el 2018, el subsector minero no metálico registró una producción de 61.8 millones de toneladas, siendo los minerales no metálicos de mayor producción, la caliza y dolomita (30.5 millones de toneladas), las mayores extracciones proceden de las regiones Junín, Lima, Arequipa y Cajamarca (2).

La cal es producto de la descomposición de la roca caliza, que al ser sometida a temperaturas superiores a 900 grados centígrados, da como resultado el óxido de calcio (cal viva); este producto tiene usos variados, se usa en el rubro de construcción para estabilizar suelos, para fabricar ladrillos, etc.; en el rubro de agricultura se usa para mejorar suelos agrícolas; en el rubro de minería se usa para fundir cobre, zinc y plomo. Asimismo, se usa para obtener la neutralización de pH de aguas ácidas y aguas residuales, suelos contaminados, y hacer depuración de gases tóxicos, etc. (3); además es usada para la fabricación de cemento, para aplicar en la fibra de vidrio, y cerámica; en la producción de soda, de papel, y en el sector minero-metalúrgico se utiliza en la fundición y refinación (4).

De acuerdo al Instituto Peruano de Economía, Cajamarca es una de las regiones con mayor potencial minero; en el distrito de Baños del Inca existen diversas zonas caleras, que requieren de un plan de minado para ser explotadas adecuadamente; ante la demanda de cal, es necesario realizar el procesamiento de caliza, con el fin de satisfacer la demanda que se tiene en los diferentes rubros de la industria. Por tanto, se propone un plan de minado a fin de evaluar la factibilidad de dicho proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Cajamarca es una de las regiones con mayor potencial minero, siendo los minerales no metálicos de mayor producción, la caliza y dolomita; sin embargo, la informalidad en la explotación de minerales, sobre todo en minería a pequeña escala, sigue siendo uno de los principales problemas; que a su vez impide que se realicen inversiones para optimización de operaciones, genera conflictos sociales, pasivos ambientales, inestabilidad laboral, y nulo acceso a capacitaciones tecnológicas, administrativas, operativas, y de gestión ambiental, además de no contar con acceso a fuentes seguras de financiamiento, que sí se obtiene en la minería formal (5).

Según los datos del Ministerio de Energía y Minas, solo cuentan con reporte de 11 concesionarias mineras en la región Cajamarca, el resto son informales. En el distrito de Cajamarca existen diversas zonas de formaciones de caliza; específicamente en el distrito de Baños del Inca existen diversas canteras, que en su mayoría operan de manera informal, y ya que los derivados de la caliza son requeridos en diversos rubros como: la construcción, agricultura, saneamiento y minería; se requiere que la cal que se obtiene a partir del procesamiento de la roca caliza sea de óptima calidad, siendo necesario la elaboración de paneos de minado antes del inicio de la explotación minera.

En este sentido, la cantera Chinchin, ubicada en el centro poblado de Otuzco, cuenta con formaciones de caliza, que se pretenden explotar, y para ello se propondrá un plan de minado a fin de evaluar la calidad del macizo rocoso, hacer su respectiva caracterización y a partir de ello analizar la factibilidad de explotación.

1.1.1. Problema general

¿Cuán factible es la implementación de un plan de minado en la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca?

1.1.2. Problemas específicos

¿Cuál es el resultado de la evaluación geomecánica de la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca?

¿Cuál es el método de explotación de la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la factibilidad de minado de la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca.

1.2.2. Objetivos específicos

Realizar la evaluación geomecánica de la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca.

Determinar el método de explotación de la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación práctica

Cajamarca cuenta con gran potencial no metálico, para su explotación con diversos fines, entre ellos se encuentran grandes

reservas de caliza, de la que se adquiere la cal viva, para satisfacer la demanda en diversas áreas de la industria, ya sea minera, agrícola, saneamiento, entre otras. Por ello, el contar con un plan de minado en la cantera Chinchin y evaluar la factibilidad de su implementación permitirá tener los lineamientos adecuados para asegurar un óptimo minado a partir del cálculo de reservas y estimación de la producción.

1.3.2. Justificación metodológica

El logro de los objetivos de la investigación y la aplicación de instrumentos permitirán evaluar la variable; asimismo, los instrumentos serán elaborados en función a las dimensiones de la variable en estudio, que a su vez permitirá dar solución a los problemas planteados y determinar la factibilidad de minado en la cantera Chinchin y esto servirá como base de futuras investigaciones.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

La implementación de un plan de minado de la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca es factible.

1.4.2. Hipótesis específicas

A partir de la clasificación geomecánica de la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca, según Bieniawski (1), se determina que la calidad de la roca es buena.

El método de explotación de la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca es a tajo abierto.

Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Proceso de operacionalización de variables			
Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Plan de minado	Es un documento que contiene las áreas de exploración, parámetros, equipos a utilizar y presupuestos. Debe incluir estudios de geología, geomecánica, hidrología, parámetros de diseño, técnicas de explosivos y voladuras, transporte, botaderos, ventilación y relleno, etc.	Clasificación geomecánica	Parámetros de resistencia de matriz rocosa
		Método de explotación	Parámetros de índice de RQD Parámetros de condición de las discontinuidades Parámetros hidrogeológicos Tamaño Disposición Forma

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la tesis “*Diseño y planeamiento minero para la cantera de Muro de la Dos*” (6). Se tuvo como objetivo planear, diseñar e implementar un método para la extracción de caliza; se concluyó que existían reservas de 423,600 toneladas de caliza, y de estas, 323,000 toneladas de caliza son explotables; asimismo, se determinó que la porosidad era de 3.39%, humedad de 0.26%, saturación 26.62%, y peso específico 24.7 KN/m³, y la calidad de la roca tenía entre 37-40% de CaO ideal para la producción de cemento gris. Se diseñó el método de explotación por bancos descendentes para la cantera de acuerdo a los criterios técnicos y ambientales de la ley colombiana (6).

En la tesis “*Plan de explotación minero de la cantera C. A. cantera Yaracuy, municipio La Trinidad, sector Las Casitas, estado Yaracuy*” (7). Se tuvo como objetivo principal diseñar un plan de explotación minero para la extracción de calizas marmóreas. A partir de los resultados, se determinó que, de comprobarse las reservas de la zona mediante métodos geofísicos se tendría una vida útil de 2 años con un ritmo de producción de 15,000 m³ por mes, y que la explotación del yacimiento se realizará mediante bancos descendentes, con alturas de 10 metros cada

banco, 4 metros de berma mínimos para seguridad, el ángulo de cara de talud de 72° y un ángulo de talud final de 55°; el factor de seguridad para este diseño geométrico de bancos es de 1.2 lo que representa un valor suficientemente seguro para este tipo de obras (7).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la tesis “*Propuesta de implementación de plan de minado en la cantera de Dolomita Jajahuasi 2001 de la Comunidad Campesina Llocllapampa – provincia de Jauja*” (8). Se tuvo como objetivo calcular las reservas probadas y probables del yacimiento, proponer un plan de minado basado con un ritmo de producción promedio de 341,000 TM anuales. El tipo de investigación es aplicada, del nivel descriptivo y de método no experimental. Para determinar las reservas del yacimiento se utilizó el software *Minesight* con ayuda de un levantamiento topográfico y geológico; los resultados muestran que el yacimiento presenta afloramiento en un 60%, que reduce la cantidad de estéril para la extracción de mineral; además tenía 2.54 MPa de resistencia a la tracción, porosidad de 0.15 y dureza de 3.5. Se concluyó que a partir del análisis económico del proyecto se demuestra el alto grado de rentabilidad, ya que al segundo año de iniciadas las operaciones la inversión será recuperada; a partir del análisis de composición granulométrica se determinó que es altamente explotable por tener un alto grado de pureza, óxido de calcio (CaO) 29.31% y óxido de magnesio (MgO) (8).

2.1.3. Antecedentes locales

En la tesis “*Optimización del plan de minado de cantera de caliza La Unión, distrito de Baños del Inca – Cajamarca 2015*” (9). Se planteó el objetivo de evaluar las características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte. El método de investigación es cuantitativo, el diseño es descriptivo-explicativo. Al realizar la caracterización de macizo rocoso de calizas tenían un RMR 57, determinándose que es una roca de calidad regular con una densidad en banco de 2.51 TM/m³, con una potencia del estrato aproximada de 4.00 metros a 5.00 metros; se

determinó que las reservas minerales fueron 855972.00 TM, los resultados de la voladura fueron de 65 m³ de roca fragmentada o roca suelta diaria, la densidad de la caliza variaba de 2.40 a 2.52 TM/m³, la resistencia compresiva uniaxial variaba de 50.34 a 95.55 MPa (9).

En la tesis “*Propuesta de plan de minado de la cantera los Chancas III 5 Hnos., distrito Bambamarca, provincia Hualgayoc, departamento de Cajamarca, 2018*” (10). Se tuvo como objetivo desarrollar una propuesta de plan de minado, diseñando para esto un plan de operaciones anual, se hizo la caracterización de geología y geomecánica del macizo rocoso, y se calcularon las reservas que presentaba la cantera, además del método y diseño de explotación. En los resultados se muestra que la cantera está constituida de secuencias calcáreas del Cretáceo Superior, y se destaca por su homogeneidad litológica y ocurrencia en bancos gruesos y duros por presentar una estratificación regular y uniforme de coloración grisácea, además, se determinó que el método de explotación a utilizar es a cielo abierto mediante bancos ascendentes, la pendiente de vía debe tener 10%, 1 metro de ancho de banquetta y la altura del banco debe ser 1.5 metros. Se concluyó que la geología de la zona está constituida por material sedimentario perteneciente a la formación Cajamarca, que está constituida de secuencias calcáreas del Cretáceo Superior; respecto a la geomecánica según el RMR es una roca de buena calidad (10).

En la tesis “*Plan de minado para la explotación en la cantera Tuna Blanca, Santa Cruz, Cajamarca 2018*” (11). Se tuvo como objetivo diseñar un plan de minado para la cantera Tuna Blanca, Santa Cruz. La investigación es cuantitativa, de diseño no experimental explicativa; usó como técnicas la observación y la entrevista. Concluyó que el material extraído de la cantera era adecuado para el uso en la construcción, el mismo que tenía una resistencia de 116.5 de comprensión, un grado de porosidad que oscilaba entre 30 y 40, y humedad que de 0,45%; por otro lado, determinó que para la extracción se usaría el método Tipo Canteras con bancos descendentes, para evitar accidentes; además que, al explotarse generaría un ingreso mensual de S/ 34,968.00 (11).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cantera

El término cantera se usa para hacer referencia al reconocimiento de rocas ornamentales, industriales, y de materiales constructivos. La cantera es una roca ígnea conformada por cenizas y diversos fragmentos producto de erupciones volcánicas violentas; su textura y color difieren dependiendo su composición. La presencia de granos cristalinos o cenizos revelan la existencia de diversos minerales como: plagioclasa, biotita y augita. Cabe mencionar que una cantera se caracteriza por su porosidad, suavidad y ligereza (12). Los materiales extraídos de las canteras son minerales industriales y materiales de construcción, y casi todo el material se convierte en producto, lo cual genera menor cantidad de desecho.

Clasificación de canteras

Según el tipo de explotación: pueden ser canteras a cielo abierto (cuando la roca se extrae de la ladera de un cerro); y canteras en corte (cuando la roca se extrae de la profundidad) (13).

Según el material a explotar: pueden ser: canteras de roca; y canteras de agregados, arcillas y terrazas aluviales (13).

Según su origen: canteras de formación fluvial; y canteras de roca (13).

2.2.2. Definición de caliza

Las calizas son rocas sedimentarias formadas por acaparamiento de cubiertas de organismos calcáreos o por precipitación química de carbonato de calcio (calcita, aragonito, Mg-calcita y dolomita) (14).

Química: la caliza está compuesta por CaCO_3 , (90-95%), el porcentaje restante son impurezas, que provocan cambio en el color, y las más comunes son sílice, óxidos de manganeso, pirita, óxidos de hierro, alúmina (Al, O), etc. (15). Las calizas industriales contienen CaCO_3 de 70% a 80%, algunas con más del 90% (16). La caliza es un insumo

importante del cemento gris, además, puede ser usada para fabricar el antiguo mortero de cal. Es considerado un recurso natural no metálico, no renovable.

Composición química de caliza

Tabla 2. Composición química de caliza, muestra 15F-RNM-126

Elemento	%	% *
CaO	55.09	54.98
SiO ₂	1.15	1.15
Al ₂ O ₃	0.56	0.56
Fe ₂ O ₃	0.16	0.16
MgO	0.62	0.62
K ₂ O	0.12	0.12
Na ₂ O	0.35	0.35
MnO	0.01	0.01
P ₂ O ₅	0.04	0.04
TiO ₂	0.02	0.02
LOI	42.08	42.00
Total	100.20	100

Nota: tomada del Estudio geológico económico de rocas y minerales industriales en la región Cajamarca (4) (p. 211).

Clasificación de la caliza

Las canteras de caliza imperan en la región Cajamarca, por tanto, se considera la clasificación de Mitchell (17), a fin de establecer posibles usos de las calizas identificadas en la región (18).

Tabla 3. Clasificación de caliza según su pureza

Clasificación de pureza	CaO (%)	CaCO ₃ (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
Muy alta	> 55.2	> 98.5	< 0.8	< 0.2	< 0.05
Muy alta	54.3 – 55.2	97.0 – 98.5	< 1.0	< 0.6	< 0.1
Media	52.4 – 54.3	93.5 – 97.0	< 3.0	< 1.0	< 1.0
Baja	47.6 – 52.4	85.0 – 93.5	> 3.0	< 2.0	> 1.0
Impura	< 47.6	< 85.0		> 2.0	

Nota: tomada de British Geological Survey (17) (p. 13)

La cantera en estudio se ubica en la zona del distrito de Baños del Inca, dicho territorio pertenece a la formación Cajamarca, y presenta alto porcentaje de CaO y el bajo porcentaje en Fe₂ O₃ y SiO₂, a diferencia de otras formaciones de la región.

Tabla 4. Composición química de caliza de la formación Cajamarca

SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	MgO%	CaO%	Pureza
2.4	0.3	1.0	54.5	Alta

Nota: tomada del Estudio de recursos de rocas y minerales industriales para la inclusión económica social y desarrollo en la región Cajamarca (18) (p. 135)

Tabla 5. Propiedades químicas del carbonato de calcio disponible comercialmente

Propiedades	Pintura	Papel	Plástico	Alimento y farmacéuticos
CaCO ₃ (%)	92 – 99.35	96 – 99.35	92 – 99.35	97 - 99.5
CaO (%)	51.55 – 55.67	53.79 - 55.67	51.55 - 55.67	54.35 - 55.75
MgO (%)	0.15 – 1.2	0.15 – 1.2	0.15 - 1.2	0.24 - 0.42
SiO ₂ (%)	0.05 – 4.5	0.05 – 0.4	0.05 - 4.5	0.1 - 0.12
Fe ₂ O ₃ (%)	0.01 – 0.1	0.01 – 0.1	0.01 - 0.1	0.011 - 0.1

Propiedades	Cerámica	Caucho	Adhesivos y sellantes	Agricultura y alimento animal
CaCO ₃ (%)	98.8 - 99.35	92 - 99.35	92 - 99.35	92 - 99.35
CaO (%)	55.36 - 55.67	51.55 - 55.67	51.55 - 55.67	51.55 - 55.67
MgO (%)	0.22 - 0.38	0.15 - 1.2	0.15 - 1.2	0.22 - 0.96
SiO ₂ (%)	0.06 - 0.12	0.05 - 4.5	0.05 - 4.5	0.06 - 4.5
Fe ₂ O ₃ (%)	0.02 - 0.044	0.01 - 0.1	0.01 - 0.1	0.037 - 0.1

Nota: tomada de Estudio de recursos de rocas y minerales industriales para la inclusión económica social y desarrollo en la región Cajamarca (18)

2.2.3. Definición de plan de minado

El Plan de minado es un documento que consta del diagnóstico y análisis integral de los factores de producción dentro de una organización minera, sus limitaciones internas y externas. En el plan se estipula todo el proceso de planeamiento (9). Es la labor de detallar las tareas que son parte de un proyecto, considerando el tiempo de duración y la secuencia de estas.

En el plan de minado se deben considerar factores: ubicación, forma, tamaño, topografía superficial, profundidad del cuerpo mineralizado, tipo de mineral, complejidad y calidad de la mineralización, características del macizo rocoso (19).

2.2.4. Ciclo de minado

El ciclo de minado comprende las siguientes actividades (20):

Perforación: es la primera operación de minado, puede ser: sistema rotativo si es una roca promedio; sistema percusivo si es roca

dura; *jet piercing* si es roca dura silicosa.

Voladura: es un medio de extracción de minerales para fragmentar la roca. Para ello se usan diversos agentes de voladuras como: ANFO o emulsión (alternativa: ripeado; si es carbón o roca débil); el cargado y encendido son parecidos al descapote.

Excavación: es un método de explotación que se usa para la extracción de mineral, para el cual se suele usar: pala, cargador frontal, draga, escrepa (arcilla).

Acarreo: se refiere al traslado de material extraído, para ello se utilizan equipos como: camión, banda transportadora, riel.

Extracción: consiste en remover las rocas de la corteza de la cantera a través de máquinas o el uso de explosivos.

2.2.5. Mediciones de los parámetros

A. Clasificación geomecánica

La clasificación geomecánica RMR (*Rock Mass Rating*) (1) tiene el fin de precisar la calidad de los macizos rocosos en base al índice RMR, que se calcula considerando la resistencia de la matriz rocosa, el índice RQD, las condiciones de las discontinuidades y los parámetros hidrogeológicos. Es una referencia mundial para clasificar geomecánicamente al macizo rocoso, se desarrolló por Bieniawski en 1973 (1), luego se actualizó en 1989, y posteriormente, en 2014 volvieron a actualizar los criterios de valoración y se incluyó el efecto de la alterabilidad de la matriz rocosa por el agua, el que da un enfoque más acertado para calificar al macizo rocoso (21).

a) Parámetros de resistencia de matriz rocosa

Tabla 6. Parámetros para medir la resistencia del macizo rocoso

Ensayos de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)	Compresión simple (MPa)	Compresión simple (MPa)
Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5 – 1	<1
Puntuación	15	12	7	4	2	1	0

Nota: tomada de Clasificación geomecánica RMR, parámetros y tablas (1)

b) Parámetros de índice de RQD

El índice RQD (*Rock Quality Designation*), provee un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de diamantina. Al respecto, Palmstrom (1982) sugirió que, cuando los testigos no estén disponibles para la traza de discontinuidades, expresando el grado de fracturación, se debe partir del cartografiado geotécnico en función al número de fracturamiento por metro cúbico (Jr).

Tabla 7. Parámetro de índice RQD

RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%
Puntuación	20	17	13	6	3

Nota: tomada de Clasificación geomecánica RMR, parámetros y tablas (1)

c) Parámetros de condición de las discontinuidades

Tabla 8. Criterios para la valoración de la resistencia de discontinuidades

	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	> 10 m
Continuidad	5	4	2	0
Rugosidad	Muy rugosa 5	Rugosa 3	Suave 1	Superficies de deslizamiento 0
Relleno	Duro < 5 mm 5	> 5 mm 2	Blando < 5 mm 2	> 5 mm 0
Alteración	Sin alteración 5	Poco alterado 3	Muy alterado 1	Descompuesto 0

Nota: tomada de la Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas (21)

d) Parámetros hidrogeológicos

Tabla 9. Criterios para la valoración de la alterabilidad de la matriz rocosa por efecto del agua

Alterabilidad I_{d2} (%)			
< 85	60 – 85	30 – 60	< 30
10	8	4	0

Nota: tomada de la Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas (21)

Luego de la clasificación geomecánica se determina el comportamiento del macizo rocoso y se obtiene el índice de calidad RMR (*rock mass rating*), que varía de 0 a 100 e indica la calidad de la roca.

Tabla 10. Clasificación del macizo rocoso

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	> 4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15°-25°
V	Muy mala	20-0	1 kg/cm ²	<15°

Nota: tomada de la Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas (21)

El puntaje total del RMR está definido por: $RMR = (i) + (ii) + (iii) + (iv) + (v) - \text{Ajuste por orientación de discontinuidades}$.

B. Método de explotación de caliza

El método de explotación de caliza suele ser a cielo abierto, mediante bancos, y consiste en la extracción de rocas y minerales no metálicos con alto grado de compactación y consistencia. La materia prima se extrae separando por bloques la roca; si la orientación del yacimiento es horizontal, se hace una cavidad para insertar el serrucho y hacer el corte para extraer los bloques de piedra más grandes; si la orientación es vertical o un tanto inclinada, el corte de la roca se hace en la vertical y luego por su base (22).

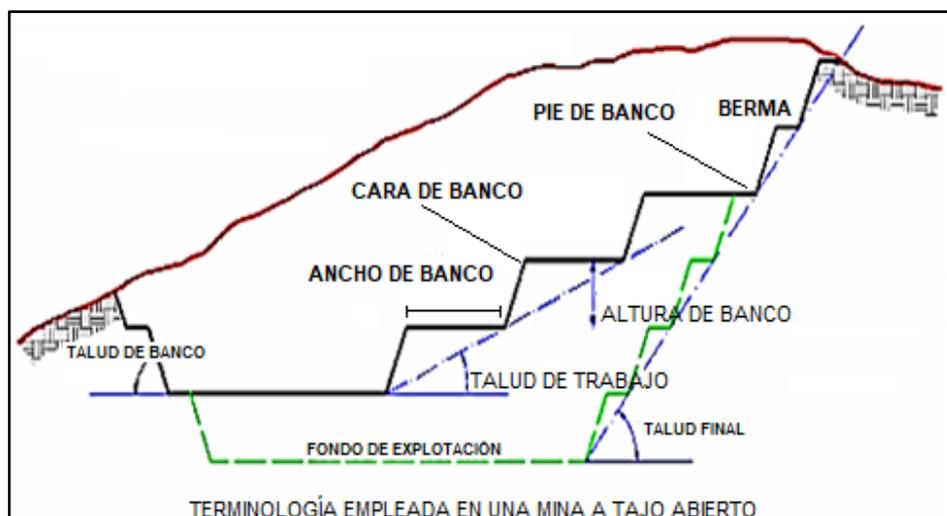


Figura 1. Terminología utilizada en una mina a cielo abierto

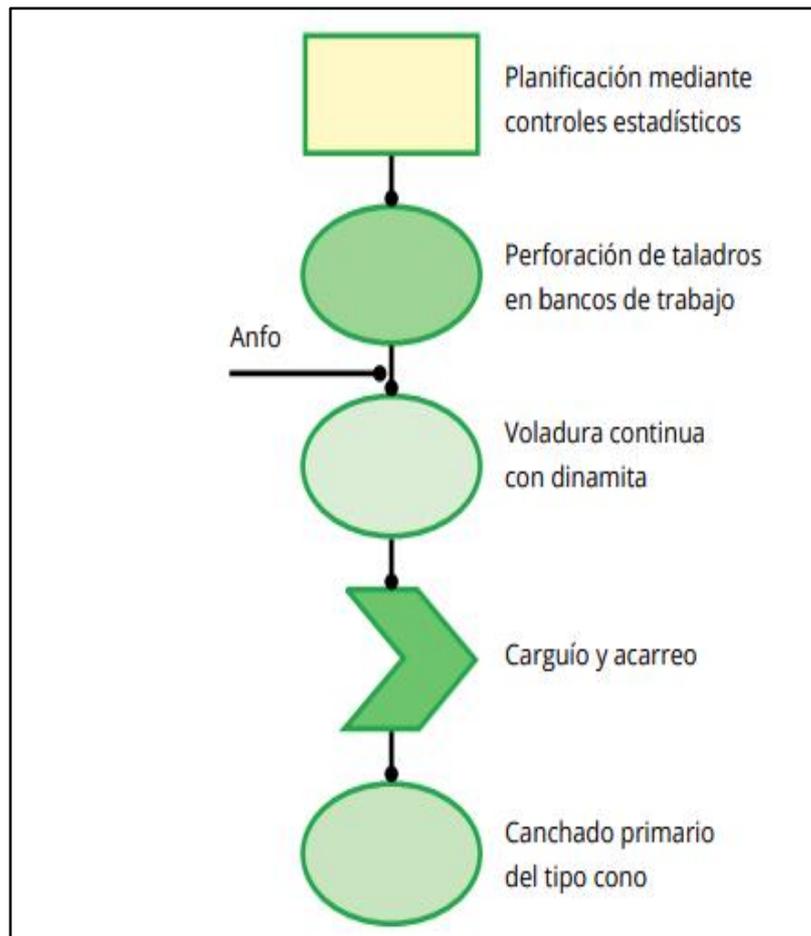


Figura 2. Proceso productivo de la roca caliza. Tomada de Guía de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético (23) (p. 13)

La materia prima para la producción de cal es la caliza en estado natural, que sigue el proceso productivo como se muestra en la figura 1, dicho proceso culmina con el chancado primario, porque esta piedra caliza podría ser utilizada como materia prima para el proceso industrial del cemento y la cal.

- **Extracción:** se derriba la superficie del área a trabajar y se realiza una limpieza total, posterior a ello se inicia la perforación mecánica con barrenas que pueden ser de 5 a 8 pulgadas de diámetro, con un entramado o malla de perforación estandarizada, acorde al diámetro de agujero perforado. La voladura se desarrolla colocando explosivos en los agujeros habilitados, aplicando el plan de minado previamente diseñado, dicho plan se concibe tomando en cuenta las distancias entre

agujeros que guardan relación con la dureza del mineral y el tamaño de fracturación del mineral deseado; de tal modo, que se pueda reducir costos de operación. Finalmente, se procede a la carga y acarreo a la planta de beneficio o trituración (23).

- **Chancado primario y secundario:** dependiendo del tamaño del mineral obtenido, se hace necesario dividir en tamaños menores, esto depende de la cantera y del proceso a seguir. El chancado primario tritura las rocas grandes a tamaños medianos y el chancado secundario arrojará como producto, trozos de menor tamaño que normalmente son de 4" a 6", adecuados para ser calcinados en hornos verticales (23).
- **Calcinación:** es la aplicación de calor con el fin de descomponer la caliza triturada, mediante una reacción térmica, donde la piedra caliza (CaCO_3) se convierte en cal viva (CaO). En dicho proceso se pierde la mitad de peso, aproximadamente, debido a la descarbonatación o pérdida del dióxido de carbono de la caliza original (23).
- **Hidratación:** en esta etapa la cal viva (óxido de calcio) es llevada a una hidratadora, donde se le agrega agua, y pasa a ser cal hidratada (polvo fino de color blanco). Es un proceso exotérmico, dado que, al mezclar la cal viva con agua, la reacción libera calor (23).
- **Separación:** consiste en separar los óxidos no hidratados (como los de magnesio) y algunos carbonatos conocidos como granaza de la cal hidratada (23).
- **Envasado / empaque / despacho:** este es el paso final del proceso, se procede al envasar el producto, mediante una máquina especial de envasado y paletizado. La cal hidratada es empacada en bolsas de papel (23).

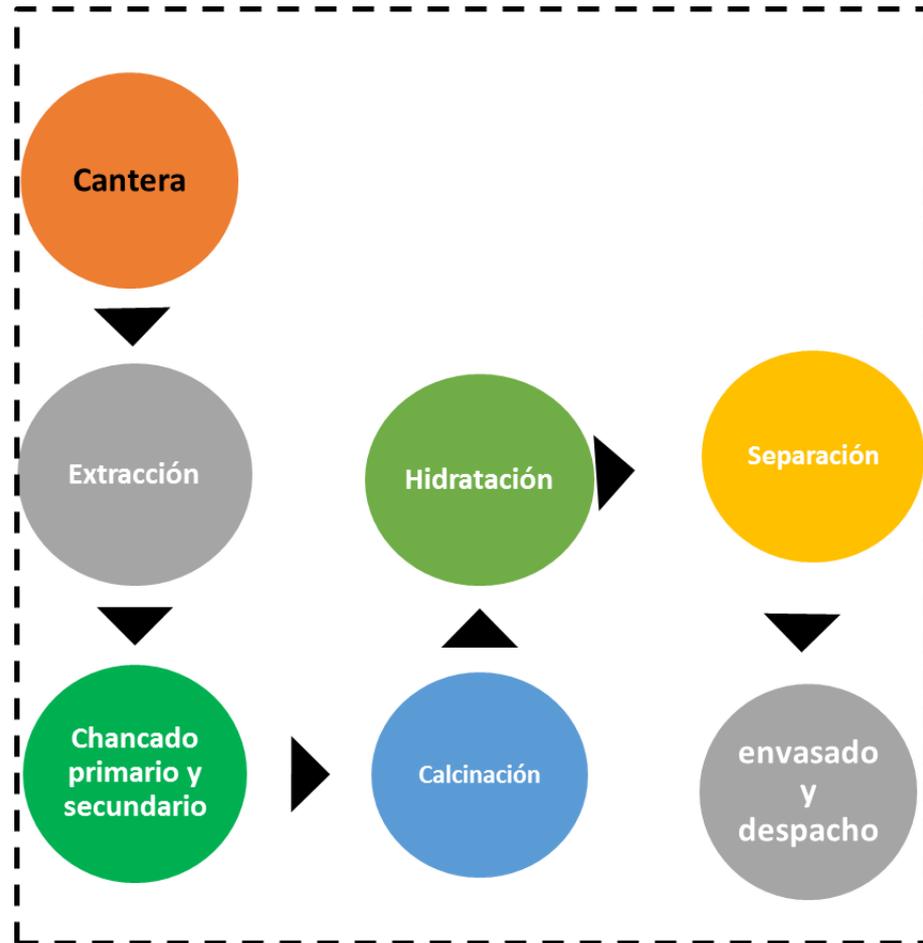


Figura 3. Proceso productivo de la cal

2.2.6. Aspectos generales de la cantera Chinchin

A. Ubicación geopolítica

El yacimiento minero no metálico de la cantera Chinchin se encuentra ubicado políticamente en:

- Departamento: Cajamarca
- Provincia: Cajamarca
- Distrito: Baños del Inca
- Centro poblado: Otuzco

Geográficamente se ubica en la zona 17 sur, sistema WGS 84, proyección UTM, con las siguientes coordenadas:

Tabla 11. Coordenadas de la cantera Chinchin

Vértice	Norte	Este
C1	783000	9212400
C2	783500	9212400
C3	783500	9212900
C4	783000	9212900



Figura 4. Imagen satelital de cantera Chinchin

B. Accesibilidad

El acceso hacia la cantera Chinchin es a través de dos vías; una de ellas es la carretera Cajamarca – Combayo, cuya distancia aproximada desde la ciudad de Cajamarca hasta el desvío del proyecto es de 7.5 km; y la otra vía es a través de una trocha carrozable de Baños del Inca – Otuzco. La primera hasta el caserío de Otuzco consta de una carretera asfaltada, y luego para llegar hasta el lugar del proyecto se hace uso de una trocha que pasa por la zona, como se muestra en la imagen.

Tabla 12. Acceso a la cantera Chinchin

Tramo	Tipo de Carretera	Distancia
Cajamarca – Otuzco	Asfaltada	7.5 km aprox.
Baños del Inca - Otuzco	Trocha	8.5 km aprox.
Otuzco - Cantera	Trocha	3 km aprox.

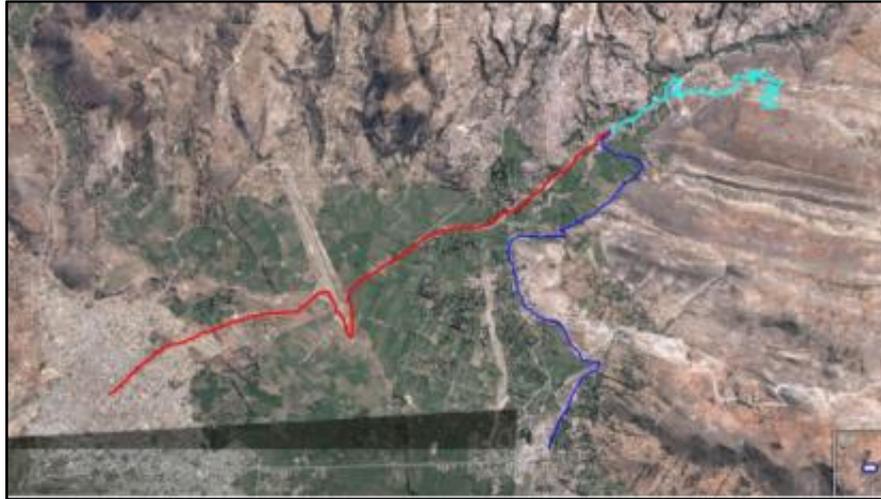


Figura 5. Imagen satelital con las rutas de acceso a la cantera Chinchin Rojo (Cajamarca - Otuzco), Azul (Baños del Inca - Otuzco), Celeste (Otuzco - Cantera)

C. Extensión del área de explotación

El depósito mineral no metálico de la cantera Chinchin se encuentra en el caserío del mismo nombre. El área de explotación queda en la parte central, que fue escogida tratando de cumplir con los requisitos para poder realizar la explotación, cuya área es de 250000 m².

D. Clima

▪ Temperatura

La temperatura en la zona, al igual que en toda la provincia de Cajamarca es muy variada entre el día y la noche, alcanzando los 22.8 °C en horas calurosas y bajando hasta los 5.4 °C por las noches, siendo la temperatura promedio 15.4 °C, según datos del Senamhi.

▪ Precipitación

La precipitación en Cajamarca es estacionaria, debido a que presenta dos temporadas definidas, la época húmeda, que empieza desde noviembre hasta mayo, y la época seca que va desde junio hasta fines de octubre. La altitud de la estación meteorológica es de 2678 m s. n. m. y presenta una precipitación media anual de 556 mm de altura.

E. Vegetación

El área de influencia de la cantera tiene vegetación variada entre las especies vegetales, donde se encuentra: eucaliptos, cipreses y en algunas partes se pudo observar la presencia de algunas especies de pino, asimismo, se presenciaron cultivos de papa, maíz, arveja, y cebada.



Figura 6. *Vegetación existente en la cantera, toda la vegetación ocurre en la capa de topsoil*

F. Fisiografía

En Otuzco alto, se presenta una fisiografía de montaña, la que presenta pendientes elevadas. La cantera Chinchin está ubicada sobre una zona de montaña, donde predominan pendientes de 30° a 40°, pero en la parte baja se encuentran pendientes menores.

2.2.7. Geología

A. Geomorfología

Respecto a la geomorfología y desde el punto de vista práctico, existen diversas definiciones; Viers (24) señala que es una ciencia de síntesis, cuyo fin es clasificar y explicar las formas del relieve; mientras que para Derruau (25) es la ciencia que describe las formas y explica el relieve, su evolución y los procesos de su modelado. Partiendo de lo mencionado, se describen las principales características geomorfológicas del área de estudio, en

relación al relieve dominante, su origen y los procesos más importantes que vienen modificando el paisaje actual.

a. Unidades mayores

Se mencionan como unidades mayores a la cordillera de los Andes, que es la unidad geomorfológica mayor que domina el territorio.



Figura 7. Cordillera de los andes que se observan desde la cantera Chinchin

b. Unidades menores

Planicies

Terreno de superficie homogénea, ligeramente ondulada, producto de la deposición de erosión, usada para actividades agrícolas y ganaderas. Compreendida dentro del rango de 0° a 8°, constituida por depósitos aluviales.



Figura 8. Planicies presentes en la cantera Chinchin

Lomadas

Terreno de superficie heterogénea, con elevaciones de bajo ángulo y pendientes suaves, ya que está comprendida entre los 8° a 25°, aprovechadas en agricultura y pastoreo.



Figura 9. Lomadas presentes en la cantera Chinchin

Escarpes

Dávila (26) las describe como un pronunciado desnivel en los terrenos que deslinda a dos superficies relativamente planas. Consideradas en un intervalo de 50° a 90°. Se presencia escarpas en la carretera, en la margen izquierdo del río Encañada, con pendientes de alto ángulo.



Figura 10. Escarpas presentes en la cantera

Quebrada

Se pudo distinguir una quebrada en la cantera Chinchin, de dirección promedio E - W, con un flujo muy variado, dependiendo de las temporadas de precipitación.



Figura 11. *Quebrada presente en la cantera*

Dolinas

Son hundimientos en los macizos rocosos calcáreos, encontradas en la parte alta hacia el sur de la zona, presenta diferentes tamaños, está originada por meteorización química. Este tipo de geoformas se encuentra en depósitos aluviales.



Figura 12. *Dolina presente en la cantera*

2.2.7.1. Geología regional

El área estudiada se encuentra dentro de la región Cajamarca, cuya geología está condicionada por la cadena occidental de la cordillera de los Andes, en la región se encuentran numerosos valles interandinos, con complejas redes hídricas. El drenaje está

controlado por las estructuras presentes en la zona, tales como la cordillera occidental de los Andes, relieves colinados y valles. Estratigráficamente se encuentran formaciones pertenecientes al Cretáceo Inferior (Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Inca, Chulec, Pariatambo) al Cretáceo Superior (Yumagual, Quilquiñan, Mujarrun, Cajamarca), al periodo Paleógeno (Volcánico Huambo y San Pablo) y depósitos cuaternarios.

2.2.7.2. Geología local

A. Formación Cajamarca

Esta formación presenta estratos grandes y gruesos, son calizas compactas, de color gris, siendo notorio en algunas partes encontrar morfología *kárstica* como dolinas, lenares; esta formación se encuentra en la parte sur de la cantera. Esta formación abarca parte de la concesión, sobre esta formación se realizará la explotación de cal, debido al índice de pureza que presenta la caliza. En la concesión presenta un Azimut de nivel 120° , con ángulo de buzamiento de 32° al SW.



Figura 13. Formación Cajamarca (cantera Chinchin), donde se observan calizas de color gris, con cobertura de suelo rojizo denominado terra rosa originado por meteorización

B. Depósitos cuaternarios

Deposito eluvial

En general son los sedimentos de mayor altura, encontrados en las cimas de los cerros y colinas. Están constituidas por fragmentos

heterogéneos de rocas que van desde el grano fino al medio, dentro de él se puede encontrar material anguloso y redondeado no consolidado y muy erosionado. Este tipo de depósito puede ser utilizado para la agricultura.



Figura 14. Depósito eluvial, se observa de color gris

Deposito coluvial

Este tipo de material se encuentra más elevado con respecto a los depósitos aluviales, están conformados principalmente por rocas pertenecientes a la formación Cajamarca. Lo que diferencia a este tipo de depósito es su pendiente que puede llegar hasta los 30°, otra característica de estos depósitos es que poseen fragmentos angulosos en su composición



Figura 15. Depósito coluvial

Deposito aluvial

Estos depósitos se distinguen claramente en el yacimiento de la cantera Chinchin, y se caracteriza por presentar gran porcentaje de arenas de grano fino a medio y poco porcentaje de arcillas.



Figura 16. Deposito aluvial

Deposito fluvio – aluvial

Estos depósitos se distinguen claramente a lo largo de la quebrada presente en la cantera Chinchin, se caracteriza por presentar clastos angulosos a subredondeados, y poca presencia de arenas.



Figura 17. Deposito fluvio – aluvial

2.2.7.3. Geología estructural

Las estructuras que se encontraron fueron originadas por movimientos tectónicos pertenecientes a la fase Inca del ciclo orogénico del Cenozoico. Dentro de estas se encuentran:

A. Estructuras primarias

Estas estructuras se definen como aquellas estructuras cuya formación ocurrió de manera conjunta con la deposición del sedimento y sedimentación, donde se destaca la estratificación, siendo esta estructura la que determinará el ambiente de deposición de los sedimentos, es decir en zonas profundas o en zonas someras.

Estrato

Se evidencia que la zona de estudio presenta espesores que varían entre 12 cm hasta 65 cm, siendo una de sus características principales la conservación de una misma composición en toda su extensión.

Diaclasas

En toda la formación Cajamarca se evidencian fracturamientos moderados, se puede notar hasta 3 familias de diaclasas con orientaciones principales de N.º 108, N.º 280 y N.º 166.



Figura 18. Diaclasas principales de la formación Cajamarca

2.2.8. Mecánica de rocas

A. Sistema de clasificación geomecánica RMR, según Bieniawski

Desarrollado por Bieniawski (1), constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos, que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa
2. RQD. Grado de fracturación del macizo rocosa
3. Espaciado de las discontinuidades
4. Condiciones de las discontinuidades, se consideran los siguientes parámetros: abertura de las caras de la discontinuidad, continuidad o persistencia de la discontinuidad, rugosidad, alteración de la discontinuidad y relleno de las discontinuidades.
5. Presencia del agua, en un macizo rocoso, el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, las descripciones utilizadas para este criterio son: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.

B. Índice de calidad de la roca, *rock quality designation*

El índice RQD (*Rock Quality Designation*), fue propuesto para proveer un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de diamantina. Palmstrom (27) sugirió que, cuando los testigos no estén disponibles para la traza de discontinuidades; expresando el grado de fracturación, se ha de partir del cartografiado geotécnico en función al número de fracturamiento por metro cúbico (Jr), determinadas al realizar el levantamiento litológico – estructural en área o zona determinada.

2.3. Definición de términos básicos

Afloramiento: parte de un terreno visible en la superficie de la tierra (24).

Banco: recortes horizontales del piso para realizar el minado en una mina de tajo abierto (25).

Bermas: se usan como áreas de protección, al detener y almacenar los materiales que puedan desprenderse de los frentes de los bancos superiores y, además, como plataformas de acceso a los frentes de trabajo.

Descapote: involucra dos etapas; la primera comprende la remoción de capa vegetal que posteriormente será utilizada en la restauración ambiental de los terrenos afectados por la explotación, y la segunda abarca la remoción de material estéril que no representa ningún interés económico.

Desbroce: es el proceso de remoción de la roca para exponer el mineral (25).

Cal: es un producto que se obtiene a partir de la calcinación de la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio, que al calentarla a 900 °C, pierde el CO₂ y se convierte en cal viva. La cal viva sometida al tratamiento con agua, se llama cal apagada (hidróxido de calcio) (26).

Caliza: roca sedimentaria compuesta por calcita CaCO₃, formado por procesos orgánicos o procesos inorgánicos (26).

Cantera: se refiere al sistema de explotación a cielo abierto para extraer de él rocas o minerales que se usan como material en diversos rubros industriales.

Cresta: en geología estructural, el punto más elevado en un pliegue.

Estratigrafía: es la descripción de todos los cuerpos de roca que conforman la corteza terrestre y su organización en unidades mapeables, distintivas y útiles, con base en sus atributos o propiedades inherentes, para establecer su distribución y relaciones espaciales, su sucesión temporal, y para interpretar la historia geológica.

Formación: unidad litoestratigráfica fundamental. Cuerpo de rocas identificado por sus características litológicas y su posición estratigráfica.

Reservas: es la parte de un depósito mineral que puede ser extraído a partir del momento de la determinación de la reserva (25).

Talud: es la inclinación de la topografía, natural o artificial, su altura es menor a los 8 metros (26).

Yacimiento: es una acumulación natural de una sustancia mineral o fósil, cuya concentración puede ser usada como materia prima o como fuente de energía (26).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcance de la investigación

3.1.1. Método

El método de la investigación es descriptivo, ya que se observaron, describieron y analizaron detalladamente las características geológicas y geomecánicas de la cantera Chinchin.

Este método permite estudiar los fenómenos o hechos tal como se presentan en la realidad; sin llegar a su manipulación. Consiste en describir, analizar e interpretar sistemáticamente un conjunto de hechos o fenómenos y sus variables en su estado natural; por ende, no se tiene control directo sobre las mismas (31) (p. 55).

3.1.2. Alcance

El alcance de la investigación es descriptivo – explicativo. De acuerdo a Hernández et al. (32) los estudios descriptivos consisten en especificar las propiedades o características de los fenómenos o hechos que se someten a un análisis sin que haya manipulación de variables por parte del investigador. A través de estos estudios se miden de manera independiente las variables objeto de estudio; su propósito no es relacionar variables.

En este sentido, se describieron las características geológicas y clasificación geomecánica de la cantera Chinchin, usando el índice de calidad RMR (*Rock Mass Rating*) de Bieniawski (1), con lo que se determinó el comportamiento del macizo rocoso y permitió establecer la calidad de la roca útil (caliza). Y, a partir de estos procedimientos, se responden los problemas planteados en la investigación.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo no experimental de corte transversal - descriptivo, debido a que se observó la variable sin manipularla y se la describió, e hicieron los estudios de acuerdo a los objetivos planteados en la investigación en un tiempo determinado. Al respecto, Hernández et al. (32) se hace referencia que en la investigación no experimental se observan las variables tal como se dan en su contexto natural, y luego se procede a analizarlos. Además, señala que los diseños de las transversales recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población está conformada por los yacimientos no metálicos existentes en la zona del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca.

3.3.2. Muestra

La muestra es el yacimiento no metálico de caliza en la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, del distrito de Baños del Inca.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica que se utilizó es la observación, dicha técnica consiste en realizar un registro sensorial de lo que ocurre en una situación real, es clasificado y consigna los datos de acuerdo con algún esquema previsto en función al objeto de estudio. Esta técnica permite registrar datos

cualitativos y cuantitativos, así como, identificar características, propiedades y condiciones de los fenómenos o hechos.

Se realizaron las observaciones en campo, y se hizo un mapeo geomecánico, y con los datos obtenidos se realizó la caracterización del macizo rocoso y la calidad de esta, para determinar la factibilidad de explotación de la cantera de caliza Chinchin, en cuya formación predomina la roca caliza.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron la Valoración RMR de Bieniawski (1), que permitió hacer la caracterización del macizo rocoso y determinar su calidad; y el software de análisis de estabilidad de taludes *Slide*, que permitió determinar su estabilidad; asimismo, se usó el software *Arcgis* versión 10.2.2. para estimar la producción de caliza.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación geomecánica de la cantera Chinchin

4.1.1. Análisis geomecánico, según Bieniawski

En la zona de extracción se realizó una estación geomecánica, donde se describen todos los parámetros geomecánicos que caracterizan a la zona Bieniawski (1).

Descripción del afloramiento

Se observó un afloramiento de calizas de la formación Cajamarca; con los que se creyó pertinente realizar el análisis geomecánico en el área. El macizo rocoso se presenta homogéneo, generalizado de calizas en un porcentaje de 90%. Sus estratos están afectados por fracturas formando 2 familias principales de diaclasas que junto a los planos de estratificación forman bloques tabulares.

A. Caracterización de la matriz rocosa

- **Litología:** caliza
- **Meteorización y color:** moderadamente meteorizada, gris
- **Resistencia:** clase R4 – roca resistente, de 75 MPa de resistencia a la compresión uniaxial.
-

B. Características de las discontinuidades

Se reconoció la estratificación de calizas y 2 familias de diaclasas.

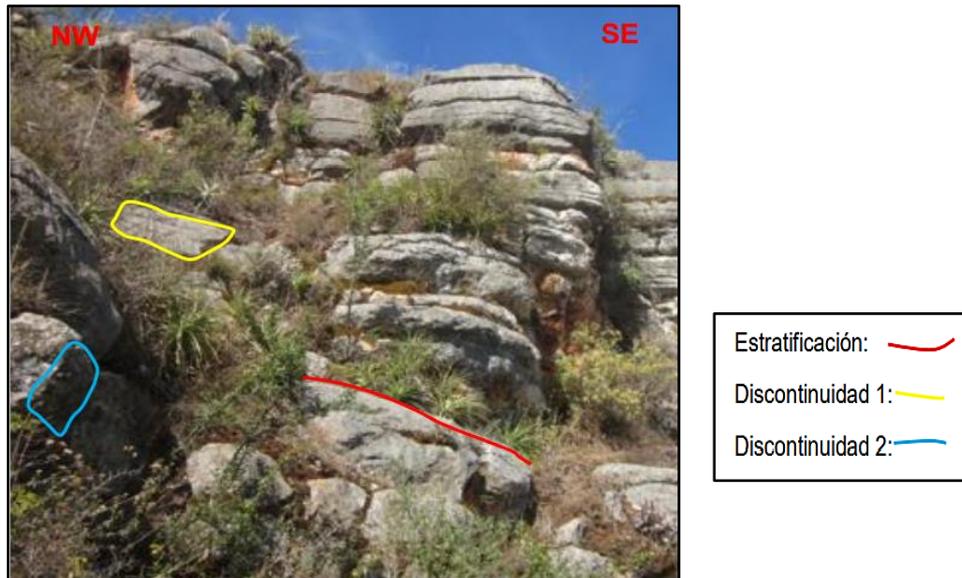


Figura 19. Discontinuidades del macizo rocoso

Tabla 13. Tipo de discontinuidad del macizo rocoso de la cantera Chinchin

Parámetro	Tipo de discontinuidad		
	E	D1	D2
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa) orientación (Dip/DD)	Clase R4 - roca resistente, de 75 MPa 25°/N 264	Clase R4 - Roca resistente, de 75 MPa 76°/245	Clase R4 - roca resistente, de 75 MPa 12/166 12/166
Espaciado (m)	0.3	0.25	0.4
Persistencia (m)	5	2.5	2.5
Abertura (mm)	0.7	4.14	4.5
Rugosidad	Rugosa	Rugosa	Rugosa
Relleno	Roca triturada	Roca Triturada	Roca triturada
Meteorización agua	Ligeramente alterada seco	Ligeramente alterada seco	Ligeramente alterada seco

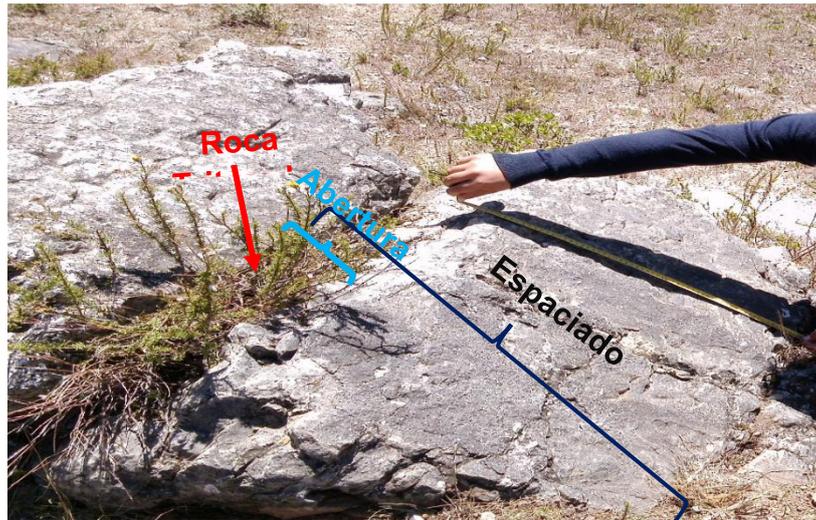


Figura 20. *Espaciado y abertura de roca de la cantera Chinchin*

Para determinar la resistencia a la compresión uniaxial (MPa) de la roca, se usó como instrumento el martillo geológico (picota), tal como se observa en la siguiente imagen.



Figura 21. *Uso de picota para determinar la resistencia a la compresión uniaxial (MPa)*

C. Caracterización del macizo rocoso

Tabla 14. *Caracterización del macizo rocoso de la cantera Chinchin*

Litología	Meteorización	Grado de fracturamiento
Caliza	Moderado	Medio

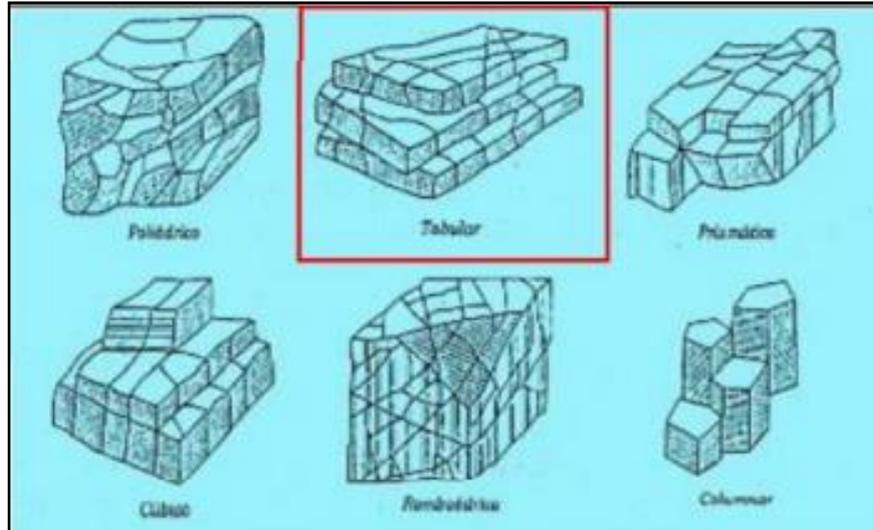


Figura 22. Forma de la roca de la cantera Chinchin

Mediante el mapeo geológico, realizado en la cantera chinchin, se determinó que está conformada por rocas sedimentarias (calizas) compuestas por carbonato de calcio (CaCO_3), que reacciona al ácido clorhídrico, concentrado a un 10%, presenta un color gris con fracturamiento concoideo. El grado de fracturamiento es medio, ya que en un metro lineal se pudo contar hasta 14 fracturas; asimismo, se pudo observar la forma tabular de afloramientos presentes en la cantera Chinchin, tal como se visualiza en la figura 22.

D. Determinación RQD

Para determinar la designación de calidad de roca (RQD), en la cantera Chinchin, se observó un afloramiento, el más representativo. Se usó un flexómetro de 5 metros para contar el número de discontinuidades en un metro lineal; y a partir de ello se aplicó la siguiente fórmula, con la que se obtuvo 55.78 como valor de RQD.

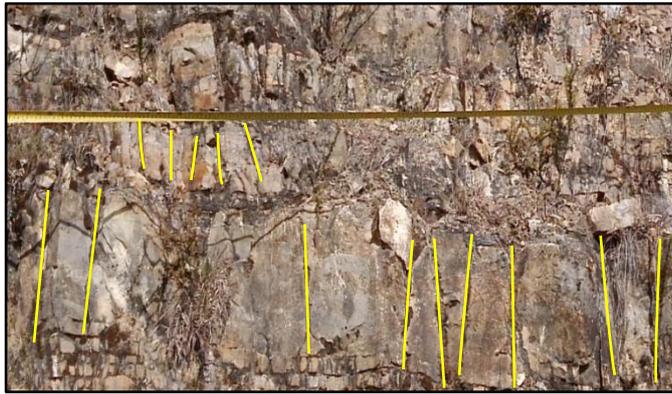
$$\Lambda = \frac{N.º \text{ de discontinuidades}}{m}$$

m

$$\lambda = 14$$

$$\text{RQD} = 100e^{(-0.1\lambda)(0.1\lambda+1)}$$

$$\text{RQD} = 55.78 \cong 56$$



Discontinuidades

Figura 23. Número de discontinuidades de la cantera Chinchin

E. Clasificación del macizo rocoso

Tabla 15. Cálculo RMR en la estratificación utilizando la tabla de Bieniawski (1)

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo Carga puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa	< 1 MPa
2	VALOR RQD		15	12	7	4	2	1	0
	VALOR Espaciado de las discontinuidades		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%		
3	VALOR		20	17	13	8	3		
	VALOR		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		VALOR	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
VALOR	6	4	2	2	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Relación P agua / σ principal	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5		
VALOR Condiciones Generales		Completamente secas	Húmedo	Mojado	Goteando	Agua fluyendo			
VALOR		15	10	7	4	0			
$RMR = 7 + 13 + 8 + 2 + 3 + 5 + 2 + 5 + 15 = 60$									

Nota: tomada de Clasificación geomecánica RMR, parámetros y tablas (1)

A partir del cálculo RMR se determinó que el macizo rocoso de la cantera Chinchin es de calidad regular, la puntuación según la tabla de Bieniawski (1), es de 60; según se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 16. Cálculo RMR de la cantera Chinchin

Parámetro	Rango de valores
Resistencia de la roca intacta	2-4 MPa 50-100 MPa
Valor	7
RQD	50% - 70%
Valor	13
Espaciado de las discontinuidades	0.2 - 0.6 m
Valor	6 - 20 m 8
Longitud de la discontinuidad	3 - 10 m
Valor	2
Abertura	0.1 - 1.0 m
Valor	3
Rugosidad	Rugosa
Valor	5
Relleno	Relleno blando < 5 mm
Valor	2
Alteración	Ligeramente alterada
Valor	5
Condiciones generales	Completamente seca
	15
Valoración total RMR	60

Tabla 17. Calidad de la roca caliza de la cantera Chinchin

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

4.1.2. Análisis geomecánico con el software *Slide*

Para la zona de extracción, se analizaron los parámetros geomecánicos de la roca aflorante, en este caso calizas, para poder determinar los parámetros geotécnicos, que ayudarán con el cálculo de las características de los bancos. Este análisis se basa en hallar el coeficiente de seguridad que indica estabilidad del talud en estado inicial, que se calcula bajo las condiciones existentes en la realidad, es decir nivel freático y sismicidad. Para el talud, el análisis de estabilidad se realizó tomando en cuenta los factores de trabajo.

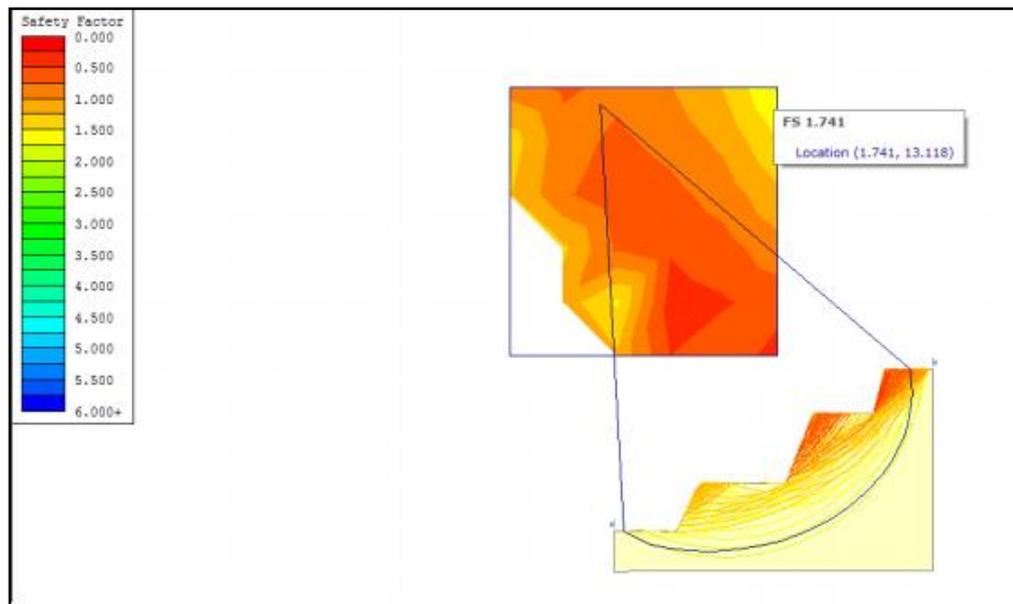


Figura 24. Análisis de estabilidad de los bancos del talud

A partir de este análisis se determinó la estabilidad del talud, se muestra en la figura, que el talud presenta coeficientes mayores a 1, pero

que no llegan a 1.5, por lo que presenta cierta inestabilidad indiferente, cuando se satura el material.

4.2. Determinación del método de explotación de la cantera Chinchin

Para diseñar el método de extracción, se tienen en cuenta parámetros geológicos, geomecánicos, geotécnicos e hidrogeológicos de la zona donde se va a realizar la explotación. El diseño para el proyecto se llevará a cabo mediante bancos.

El área de minado comprende rocas de la formación Cajamarca, especialmente calizas, con estratos de espesores de hasta 1.2 metros, las rocas calizas presentan coloración gris, también presentan buena reacción con el ácido clorhídrico (HCL). En la zona de explotación se encontró cobertura de suelo de 0.9 metros catalogada como *terra rosa* originada por meteorización de las calizas.

4.2.1. Método de explotación

Para la extracción de caliza de la cantera Chinchin se empleará el método de explotación tipo cantera por tajos, que consiste en generar tajos con parámetros definidos que serán cortados conforme avanza la producción y por lo establecido con los ciclos de minado. Este método es el más apropiado para la explotación debido al tipo de materia prima que se producirá y también al costo, además que la topografía y geomecánica del terreno es favorable.

Para el desarrollo de la producción se diseñarán bancos superficiales para conformar los taludes y bermas correspondientes; haciendo cortes en forma de tajadas de arriba hacia abajo, por medio de banqueos y derribo de material fragmentado remanente hasta llegar a la plataforma de carguío, una vez terminado el primer corte se iniciará con el segundo corte y así sucesivamente.

4.2.2. Diseño del tajo

Se emplea el diseño de cortes de tajo para explotar por cortes de avance según programa.

A. Altura de bancos

La altura de bancos se determinó con las características geomecánicas y geotécnicas de la roca, así mismo influenció el método de explotación y extracción de materia prima. Debido a la poca inversión, se escogió una altura de 5 metros de banco, y el equipo utilizado para esta actividad fue una perforadora AirROC D35.

B. Bermas

De acuerdo al diseño, se consideró un ancho de berma de 5.5 metros, que fue de ayuda para el transporte de vehículos y también para mejorar la estabilidad del talud final, generando así mayor coeficiente de seguridad.

C. Diseño de rampas

Las rampas se consideraron en el diseño con una gradiente de 10°, para que puedan circular los vehículos de carguío, minicargador, carretillas. La rampa se tendría que diseñar con un ancho de 5 metros, para uso de transporte, que permita conectar a los tajos de cada nivel.

D. Pistas

El diseño de las pistas debe ser tal que las unidades de transporte utilizadas se desplacen sin perder el ritmo de operaciones y en condiciones de máxima seguridad. Considerando el estudio geomecánico se opta por los parámetros siguientes:

- Altura de talud: 5 metros
- Berma: 5 metros
- Angulo de talud: 70°
- Talud final: 36°
- Tipo de roca: regular tipo III (RMR Bieniawski)
- Factor de carga de explosivo: 0.82 g/cm³

4.3. Plan de minado de la cantera Chinchin

4.3.1. Recurso

El recurso por extraer son las calizas de la formación Cajamarca, las que están compuestas por calizas micríticas de alto contenido de carbonato de calcio.



Figura 25. *Caliza micrítica perteneciente a la formación Cajamarca*

Los estratos de calizas son uniformes y varían de espesores de centímetros hasta unos pocos metros. No se aprecian estratos significativos de lutitas y otras rocas estériles.



Figura 26. *Estratos de calizas uniformes presentes en la cantera Chinchin*

4.3.2. Reservas

El área de la concesión es de 250000 m², mientras que el área a explotar tiene un área de 10,000 m², de esto se calcula una vida útil de 38 años de producción. Se estima que la producción de la cal diaria solicitada sería de 75 TM y será producida en tres hornos, que producen 25 TM/día cada uno, semanalmente, se producirán 450 toneladas ya que se trabajarán 6 días a la semana de lunes a sábados; asimismo, la producción mensual de cal en toneladas métricas sería de 1800 toneladas y, finalmente, la producción anual sería de 21600 toneladas. El cálculo primero se realizó mediante la creación de perfiles transversales cada 20 metros, en un área de 100 por 100, además se aplicaron las fórmulas de la metodología clásica, luego, mediante software *Arcgis* 10.2.2, se pudo calcular el volumen a explotar.

Tabla 18. Producción estimada de óxido de calcio

<i>Producción (cal - TM)</i>				
Vida útil	Diaria	Semanal	Mensual	Anual
38 años	75	450	1800	21600

El área de extracción es de 10,000 m² cuadrados, estimándose entonces 338760 metros cúbicos de piedra caliza, siendo la densidad de esta de 2.67 t/m³ por lo que existen 814040.28 t de reserva.

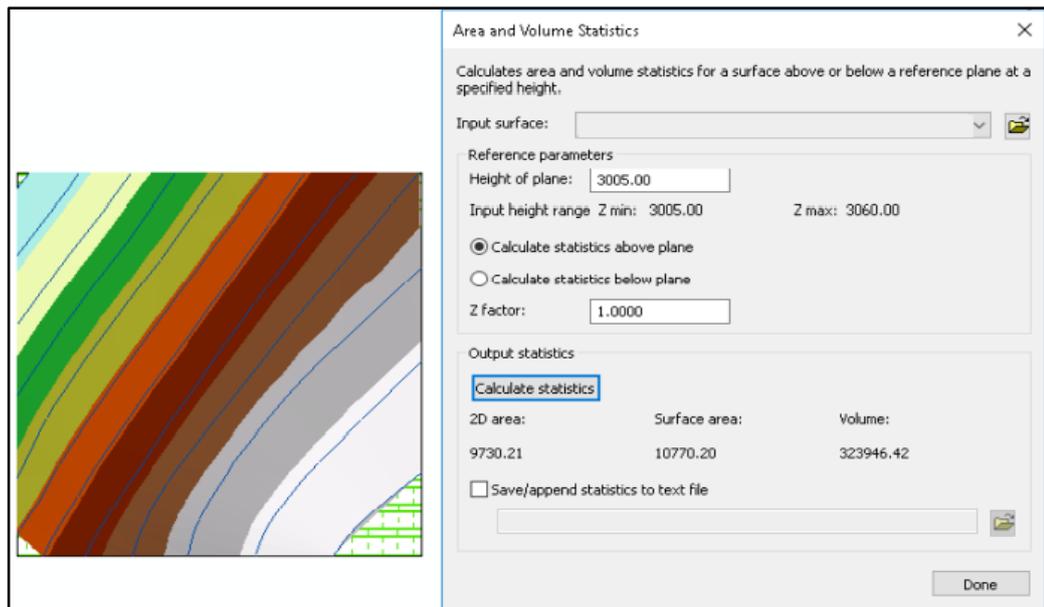


Figura 27. Cubicación calculada en el programa Arcgis. Tomada del Programa Arcgis Versión 10.2.2

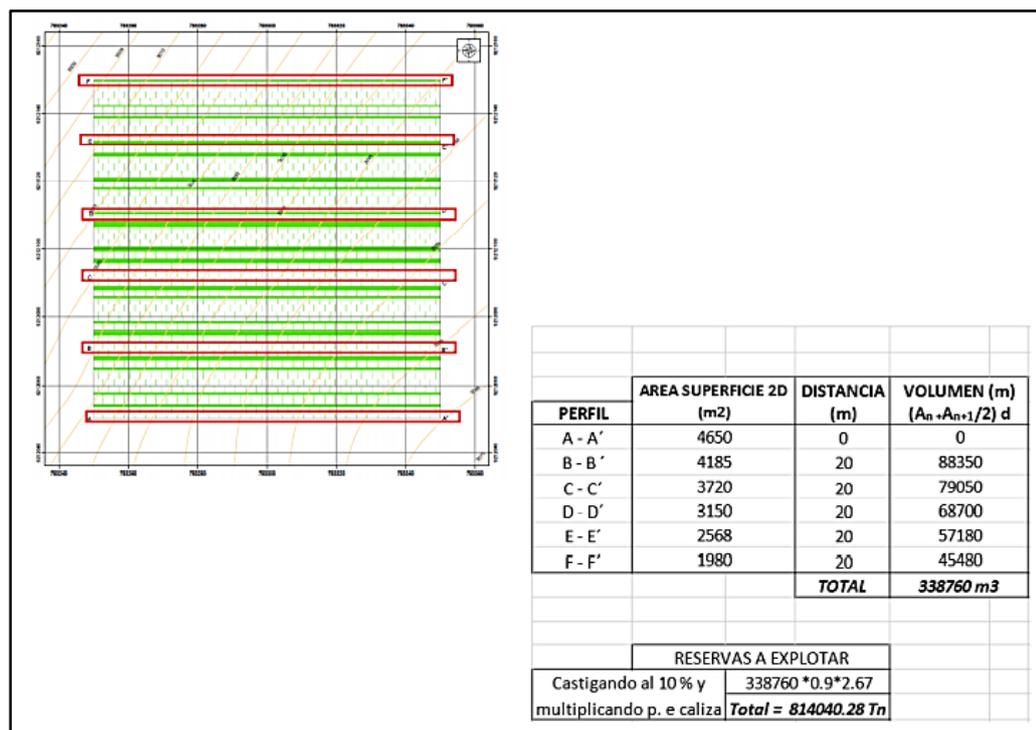


Figura 28. Perfiles elaborados en la zona a explotar. Tomada del Programa Arcgis Versión 10.2.2

4.3.3. Ciclo de minado

De acuerdo a los factores geológicos, geomecánicos, ambientales y de seguridad, el desarrollo del ciclo de minado consiste en las siguientes etapas:

Desbroce

En la minería a cielo abierto es fundamental tener en cuenta los trabajos de movimiento de tierras, debido principalmente al material estéril que requiere removerse con las actividades de desbroce, para llegar a los horizontes de material económico que se han de extraer.

El desbroce consiste en extraer y retirar de las zonas designadas todo el suelo orgánico, así como árboles, plantas, malezas, escombros o cualquier otro material no económico, según el Plan de Minado o a juicio del supervisor a cargo. Esta actividad incluye las tareas siguientes:

- Remoción del material orgánico y estéril que cubre el mineral no metálico.
- Acarreo y disposición de estos materiales al emplazamiento proyectado en el plan de minado.

Perforación

En esta etapa se perfora la roca de acuerdo a sus características. La perforación seguirá una malla de perforación definida previamente. Para la explotación se va a emplear una perforación por banqueo, la que garantiza tener una voladura que brinde un frente libre para la salida y proyección del material, y a su vez, permita una sistematización de las labores. Para la perforación se van a utilizar barrenos de 76 mm de diámetro y se va a planificar una malla de perforación, la que deberá contar con la sobreperforación de 0.57 metros y un espaciamiento entre taladros de 2.9 metros.

Voladura

La voladura se realizará con ANFO Examon-P debido a su bajo costo y fácil aplicación en zonas de difícil acceso, dicho agente de voladura consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo, desde gasolinas a aceites de motor, y corresponde a diámetros para taladros de cantera de 75 hasta 150 mm.

Estas mezclas son muy utilizadas, principalmente, por las empresas mineras, dado que son muy seguras, baratas y sus componentes se pueden adquirir con mucha facilidad.

Asimismo, se usarán los siguientes elementos de voladura:

Cordón detonante Exsacord NP 05 de 5.5 g/m, para voladura de diversos taladros.

Como cebo se empleará *Booster* de pentolita “*Exsaprime*” al nivel del piso del banco, para su mayor efectividad (27), de 1 libra (450 g), de dimensión unitaria (largo) 121.0 mm y dimensión unitaria (diámetro) 60 mm.

La iniciación de la malla de la cantera Chinchin se realizará con detonador no eléctrico Exsanel MS de 50 m.

Por último, para iniciar la detonación se usará el “Detonador ensamblado” compuesto por un fulminante simple N.º 8, un tramo de mecha de seguridad, un conector y mecha rápida.

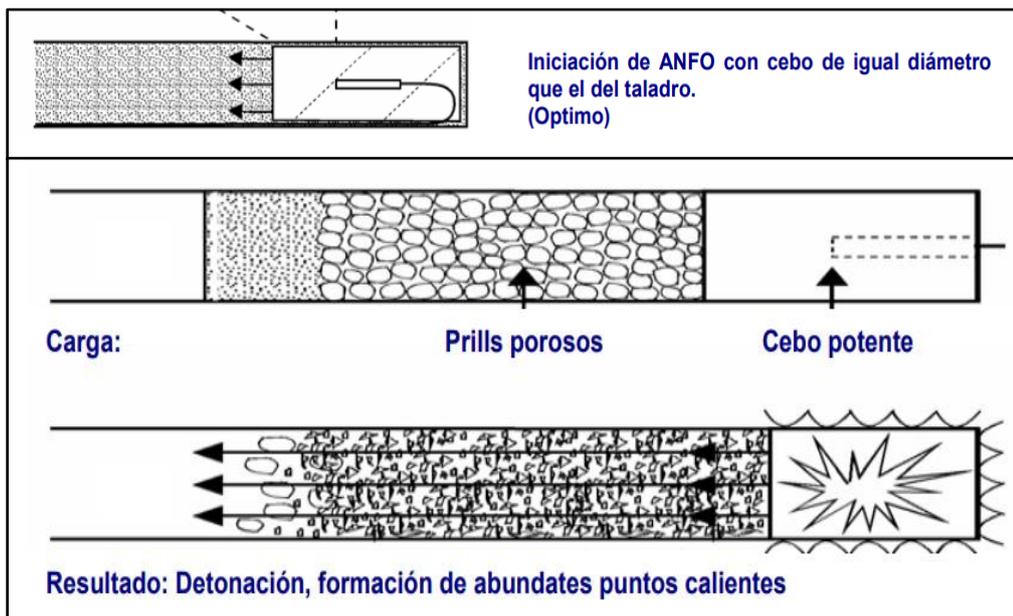


Figura 29. *Iniciación correcta con ANFO. Tomada del Manual de voladura EXSA (27)*



Figura 30. Cordón detonante y ANFO. Tomada de Fundamentos sobre explosivos y la teoría de la detonación (28)

Extracción del material

Para el proyecto minero se ha establecido utilizar como explosivo ANFO de dos densidades, una para la carga de fondo y otro con menor densidad para la carga de columna, este explosivo fue elegido por las características geomecánicas del macizo rocoso, diámetro de los barrenos, precio del explosivo, así como la presencia de agua. El principio de la extracción es mover más material en un tiempo determinado y al mínimo costo por metro cúbico.

Carguío y transporte

En esta etapa, se empleará maquinaria adecuada para realizar el movimiento del material fragmentado por la voladura hasta el horno. Después de fragmentar la roca caliza, se realizará el desbroce de *topsoil*, de cobertura vegetal y material estéril, aplicándose medidas de protección contra la erosión y arrastres de sedimentos, además de evitar que se mezcle con algún material o desmonte de mina.

Para transportar el material fragmentado desde el área de explotación hasta el horno se usarán volquetes, además servirán para la distribución del producto (cal apagada) a las diferentes empresas.

Para las actividades antes mencionadas, se pretende usar la siguiente maquinaria:

- 2 retroexcavadoras 416F2 Cat, cuya función será producir, transportar y cargar el material (cuando la distancia de recorrido es corta). Se

cortará la roca con el cucharón de la retroexcavadora, y con la pala cargadora se cargará el material para depositarlo en los volquetes.

- 1 perforadora AirROC D35
- 2 camiones volquete FMX 8x4R

Tabla 19. Especificaciones de retroexcavadora cargadora 430E IT – Cat

Motor		Retroexcavadora	
Modelo del motor	3054C DIT	Profundidad de excavación – Estándar	4.698 mm 15,4 pie
Potencia bruta – SAE J1995	75 kW 101 hp	Profundidad de excavación – Extendido	5.951 mm 19,5 pie
Potencia neta – SAE J1349	72 kW 97 hp		
Pesos			
Peso en orden de trabajo – Nominal	7.294 kg 16.066 lb		
Peso en orden de trabajo – Máximo	10.700 kg 23.568 lb		

Retroexcavadora		Cargador	
Profundidad de excavación – Estándar	4.698 mm 15,4 pie	Capacidad del cucharón – Uso General	1 m ³ 1,31 yd ³
Brazo extensible retraído	4.809 mm 15,75 pie	Ancho del cucharón – Uso General	2.406 mm 7,916 pie
Brazo extensible extendido	5.951 mm 19,5 pie	Altura de descarga a ángulo máximo – Inclinación sencilla	2.604 mm 8,583 pie
Alcance desde el pivote de rotación – Estándar	6.049 mm 19,833 pie	Altura de descarga a ángulo máximo – IT con acoplador rápido	2.539 mm 8,3 pie
Brazo extensible retraído	6.154 mm 20,1 pie	Alcance de descarga a ángulo máximo – inclinación sencilla	821 mm 2,666 pie
Brazo extensible extendido	7.247 mm 23,75 pie	Alcance de descarga a ángulo máximo – IT con acoplador rápido	799 mm 2,583 pie
Rotación del cucharón	205 Grados	Profundidad de excavación – Inclinación sencilla	106 mm 4 pulg
Fuerza de excavación del cucharón – Estándar	70,7 kN 15.892 lb	Profundidad de excavación – IT con acoplador rápido	147 mm 6 pulg
Brazo extensible retraído	69,7 kN 15.680 lb	Capacidad de levantamiento a altura máxima – Inclinación sencilla	3.205 kg 7.066 lb
Brazo extensible extendido	69,7 kN 15.680 lb	Capacidad de levantamiento a altura máxima – IT con acoplador rápido	3.466 kg 7.641 lb
Fuerza de excavación del brazo – Estándar	44,2 kN 9.940 lb	Fuerza de desprendimiento del cucharón – Inclinación sencilla	57,9 kN 13.023 lb
Brazo extensible retraído	43,3 kN 9.730 lb	Fuerza de desprendimiento del cucharón – IT con acoplador rápido	51,6 kN 11.610 lb
Brazo extensible extendido	32 kN 7.197 lb		
Levantamiento del brazo a 2.440 mm (8 pies) – Estándar	2.718 kg 5.992 lb		
Brazo extensible retraído	2.767 kg 6.100 lb		
Brazo extensible extendido	1.966 kg 4.334 lb		
Altura de carga – Estándar	3.956 mm 13 pie		
Brazo extensible retraído	3.912 mm 12,833 pie		
Brazo extensible extendido	4.520 mm 14,833 pie		
Alcance de carga – Estándar	1.774 mm 5,8 pie		
Brazo extensible retraído	1.948 mm 6,4166 pie		
Brazo extensible extendido	2.916 mm 9,5833 pie		

Nota: tomada de Caterpillar

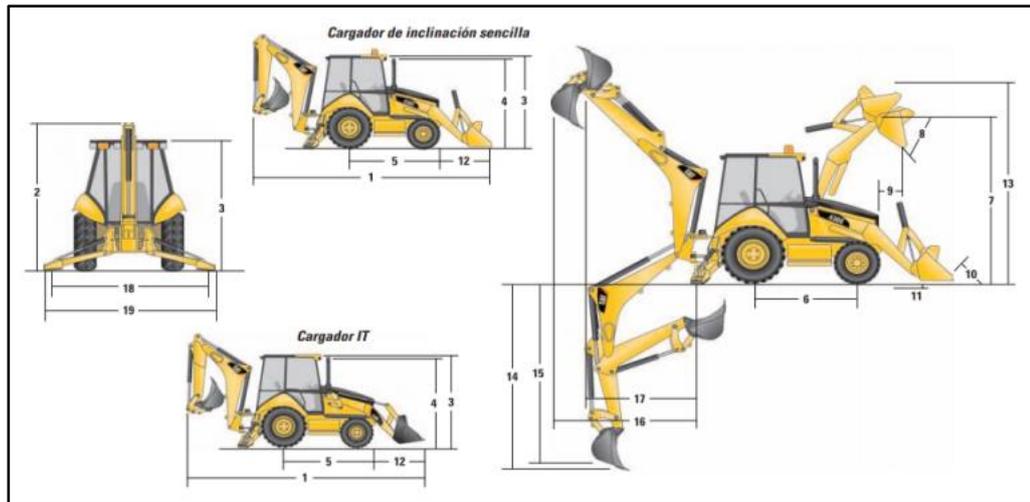


Figura 31. Retroexcavadora cargadora 416F2-Cat. Tomada de Caterpillar

Perforadora AirROC D35

Descripción detallada del producto

Nombre del producto:	ATLAS COPCO AirROC D35	Aplicación:	Agujero de ráfaga de la explotación minera
Díámetro de agujero:	76 - 115 milímetros (3" - 4 1/2")	Profundidad máxima del agujero:	29,4 m (96,5')

Las pistas de AirROC D35 se adaptan a cualquier irregularidad de tierra a través del marco principal oscilante. Se equipa del BRH rotatorio va a 3" y 4" abajo de los martillos del agujero para los agujeros hasta el 1/2 4" (115m m). Es fácil mantener de cualquier ángulo.

Hechos rápidos

Opción

Uso principal:

La piedra caliza de la construcción extrae la superficie minning minas globales

Método de la perforación:

Abajo del agujero

Paredes estables del agujero

El sistema de la niebla del agua es la herramienta ideal para estabilizar las paredes del agujero al perforar en condiciones pobres de la roca.

Martillo de DTH:

QL X35 QL40

Acero de taladro:

76 milímetros

Díámetro de agujero:

76-115 milímetros (3" - 4 1/2")

Profundidad máxima del agujero:

29,4 m (96,5')

Figura 32. Perforadora AirROC D35. Tomada de Siotechdrill

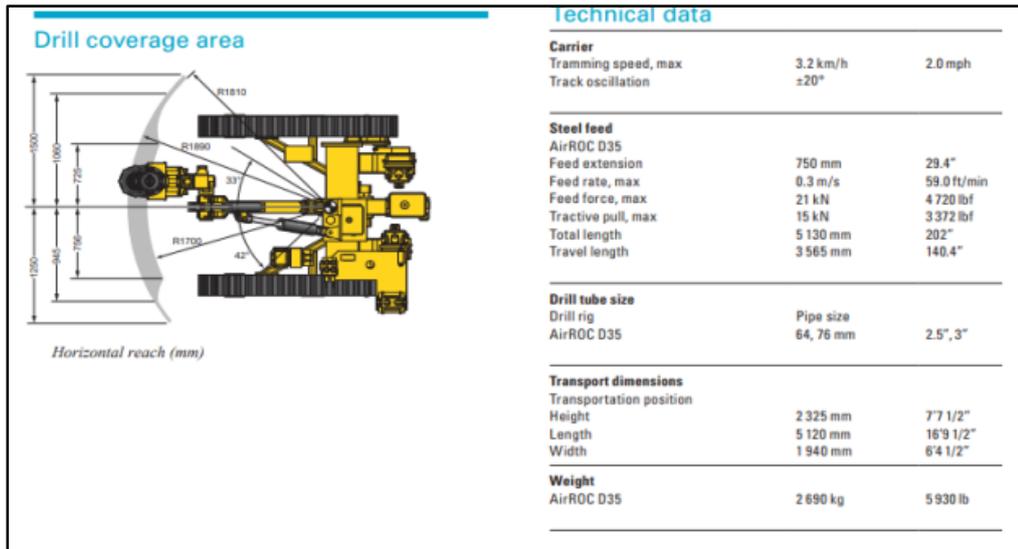


Figura 33. Retroexcavadora cargadora 416F2-Cat. Tomada de Atlascopco

Camión volquete de volvo FMX 8x4R

Eje Delantero				
Tipo	Ejes de acero inoxidable en perfil "L", tratado térmicamente. Cubos lubricados a grasa, libre de mantenimiento.			
Capacidad de Carga	16.000/18.000kgf			
Capacidad de Carga Técnica (kgf)	FAL16 RAL 23	FAL18 RAL26	FAL18 RAL26	FAL18 RAL32
	RTS2370A	RTH2610F	RTH3210F	RTH3312
Eje Delantero	16.000	18.000	18.000	18.000
Eje Trasero	23.000	26.000	26.000	32.000
PBTC Técnico	39.000	44.000	44.000	50.000
CMT	70.000	100.000	100.000*	120.000*
*Nota: 130.000 (RTH3210F) o 150.000 (RTH3312) con RAT4.12 o más corto.				
Cabina	CAB DAY		CAB SLP	
Tipo	Extendida		Litera	
Altura Interna (mm)	1.570		1.710	
Altura Interna - arriba del motor (mm)	1.140		1.620	
Largo Interno (mm)	1.815		1.950	
Ancho Interno (mm)	2.170		2.170	
Tipo de Suspensión Delantera	Resorte/Amortiguador o Neumática		Resorte/Amortiguador o Neumática	
Tipo de Suspensión Trasera	Resorte/Amortiguador o Neumática		Resorte/Amortiguador o Neumática	

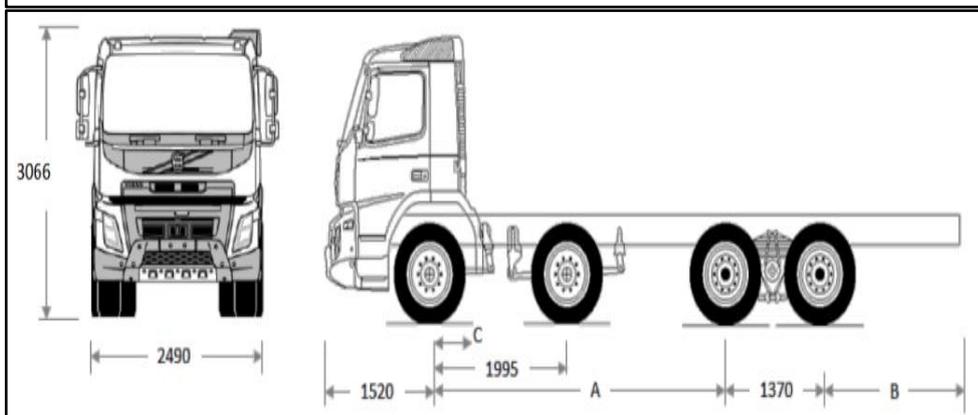


Figura 34. Especificaciones de volvo FMX 8x4R. Tomada de Tomada de Volvotrucks

Chancado

Esta etapa consiste en llevar el material fragmentado a la plataforma donde se llevará a cabo el chancado de la caliza. Esta etapa estará a cargo de 8 obreros, quienes procederán a chancar la roca con combas de 12 kg, esto se debe a que el material presenta buena fragmentación. La fragmentación que presenta se debe a la capacidad del explosivo a fragmentar la roca en cada disparo, razón por la que no será necesario emplear una máquina chancadora. La roca caliza se triturará hasta un tamaño adecuado de 0.10 metros a 0.15 metros, dicha actividad se debe realizar antes del proceso de carguío y las pilas de alimentación a los hornos de calcinación.

4.3.4. Criterios para el diseño y el método de minado

El método de minado de la cantera se realizará mediante tajos de corte, cada corte corresponde al avance mensual programado. Los bancos se realizarán de 5 metros de altura, con ancho de plataforma de 5 m. Estos datos se obtienen de la geomecánica, además de la estabilidad geotécnica que necesitan los tajos. Se iniciará retirando el material estéril (*topsoil*), luego se realizará la perforación de manera descendente, empezando a extraer la parte superior del tajo, hacia abajo, según la programación, se justifica este método descendente debido a la topografía del área de explotación.

Para el correcto diseño, en este caso de la cantera, se realizó primero un cartografiado e investigación geológica del cual se obtuvo el modelo del yacimiento con todas sus características litológicas, que permitió establecer la planificación de labores, el control y previsión de la calidad de la roca útil (caliza); para lo que se tomó en cuenta cuatro grupos de parámetros: geométricos, geomecánicos, operativos y medioambientales.

4.3.5. Diseño geométrico y dimensiones de la mina

El diseño geométrico de la mina busca conseguir un empleo más racional del trabajo y de los recursos mineros permitiendo alta

productividad con una menor inversión. Además de brindar mejor seguridad del personal en las labores de explotación.

Tabla 20. Factores operativos de la cantera Chinchin

Método de explotación	Cielo abierto
Altura de banco	5 m
Ancho de banco	5 m
Ángulo de talud de banco	70°
Altura de banqueta	1,2 m

a) Altura de bancos

La altura de los bancos se determina a partir de las dimensiones de los equipos de perforación, de los de carga y de las características del macizo rocoso (28).

b) Ángulo de talud de banco

El ángulo de talud está en función del tipo de material y la altura del banco, cuanto más exacto y bajo sea el banco, más vertical puede ser la cara de este.

Tabla 21. Ángulo de talud y receso según altura de bancos

ROCAS	ANGULO DE TALUD PARA BANCOS DE TRABAJO CON ALTURA DE:		ANGULO DE TALUD PARA BANCOS EN RECESO CON ALTURA DE:	
	5 – 12 (m)	15 – 25 (m)	5 – 12 (m)	15 -25 (m)
Arcillas aceitosas, limoarcillas, grava, loes, suelo vegetal.	40 – 50	32 -45	30 – 40	25 – 35
Arcilla pesada, limoarcilla pesada, arcilla esquistosa, limoarcillas, grava gruesa; explotable sin perforación y voladura.	45 - 65	45 - 60	40 – 55	40 – 50
Idem; explotable con perforación y voladura.	55 – 65	58 – 60	40 – 55	40 – 50
Areniscas comunes, esquistos arcillosos, calizas resistentes, margas compactas, minerales de hierro, conglomerados finos.	65 – 75	60 – 70	60 – 65	55 – 60
Rocas graníticas y granitos altamente resistentes, areniscas y calizas, filones minerales de cuarzo, piritas, mármoles y dolomitas resistentes.	75 – 80	75 – 80	70 – 75	70 – 75
Cuarcitas, basaltos, granitos rocas cuarcíferas, areniscas resistentes y calizas.	Hasta 90	Hasta 90	80 – 85	80 – 85

Nota: tomada de Tecnología de la explotación de minerales útiles a cielo abierto (36)

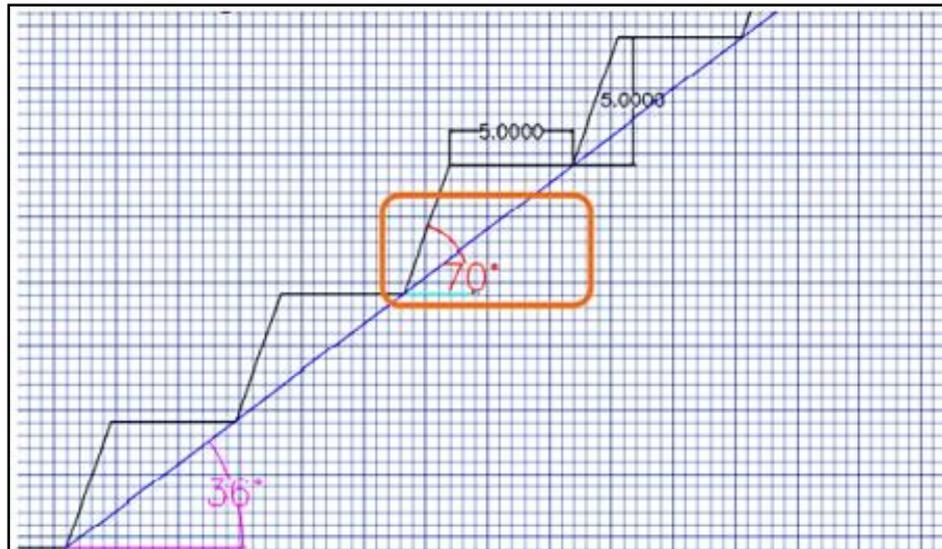


Figura 35. Ángulo del talud de banco, cantera Chinchin. Tomada del Programa AutoCad

c) Ancho de vía

El ancho de las vías que se recomienda puede estimarse con la siguiente expresión (Modulo de infraestructura minera a cielo abierto)

$$A = a (0.5 + 1.5n)$$

Donde:

A= anchura total de la vía

a= anchura del vehículo en (2.53 m)

n = número de carriles deseados [1]

A = 5 m

d) Altura de banqueteta

Altura de la banqueteta = 1 m + 0.04 × H (altura de banco, m)

Altura de banqueteta = 1 m + 0.04 × 5 m

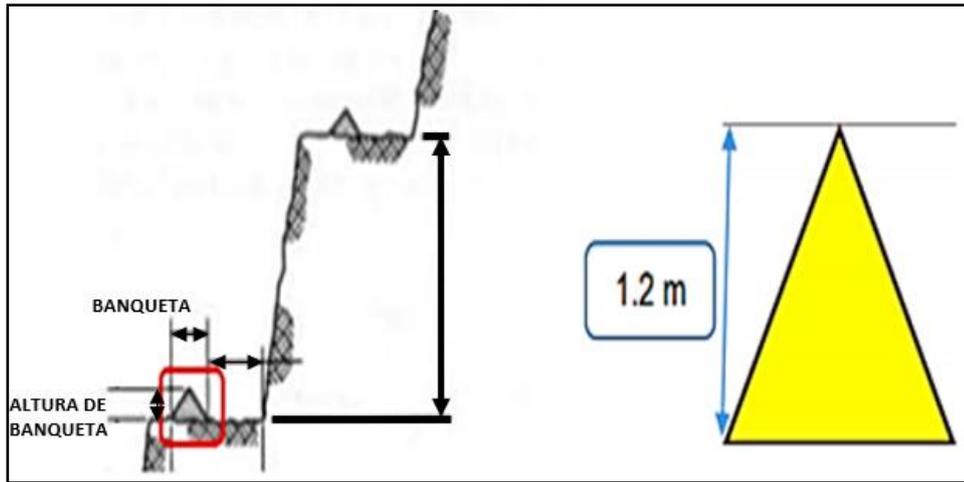


Figura 36. Banqueta diseñada en la cantera

4.3.6. Diseño de perforación y voladura

Se toma en cuenta la clasificación del macizo rocosos: regular – buena.

a) Diámetro del barreno

Para efectuar la voladura de rocas es necesario efectuar el confinamiento del material explosivo (perforar la roca) a este tipo de cala o agujero en la roca se conoce como perforación, taladros, o barrenos (entiéndase también al útil de perforación).

Tabla 22. Datos requeridos para diámetro de barrenos

Tipo de roca	Caliza
Densidad de roca	2.51 t/m ³
Diámetro de barreno	76 mm

b) Cálculo de Burden (B)

El burden para taladros de mediano a gran diámetro se calcula según el explosivo y el tipo de roca. Para ello se calculó con el método de Konya.

$$B = 3.15\phi_e \times \sqrt[3]{pe/pr}$$

Donde

B = burden, en pies

ϕ_e = diámetro del explosivo, en pulgadas

pe = densidad del explosivo

pr = densidad de la roca

$$B = 3.15 \times 3 \times \sqrt[3]{0.80/2.51}$$

$$B = 6.46 \text{ pies}$$

Convirtiendo a metros, B = 1.96 m

Redondeando, B = 2.00 m

c) Cálculo de espaciamiento (E)

Es la distancia entre los taladros de una fila, como es una malla cuadrada.

$$\text{Si } H \text{ es menor a } 4B \Rightarrow S = \frac{H+2(B)}{3}$$

Donde

H = altura (5.0 m)

B = burden (2.0 m)

S = espaciamiento

$$\frac{H + 2(B)}{3}$$

S = 3.0 m

La malla de perforación es la forma en la que se distribuyen los taladros de una voladura, en función a la relación entre el burden y el espaciamiento y su directa vinculación con la profundidad de taladros. A partir del cálculo del espaciamiento, se optará por la malla de perforación rectangular. Es importante considerar que la relación de espaciamiento a burden debe ser: S= (1,3 a 1,5) x B.

Reemplazando: S= (1,5) x 2.0 => S =3.0

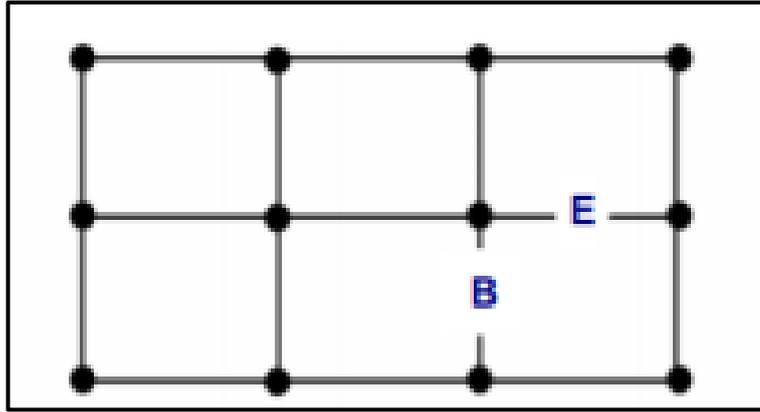


Figura 37. Malla de perforación. Tomada del Manual práctico de voladura EXSA (27)

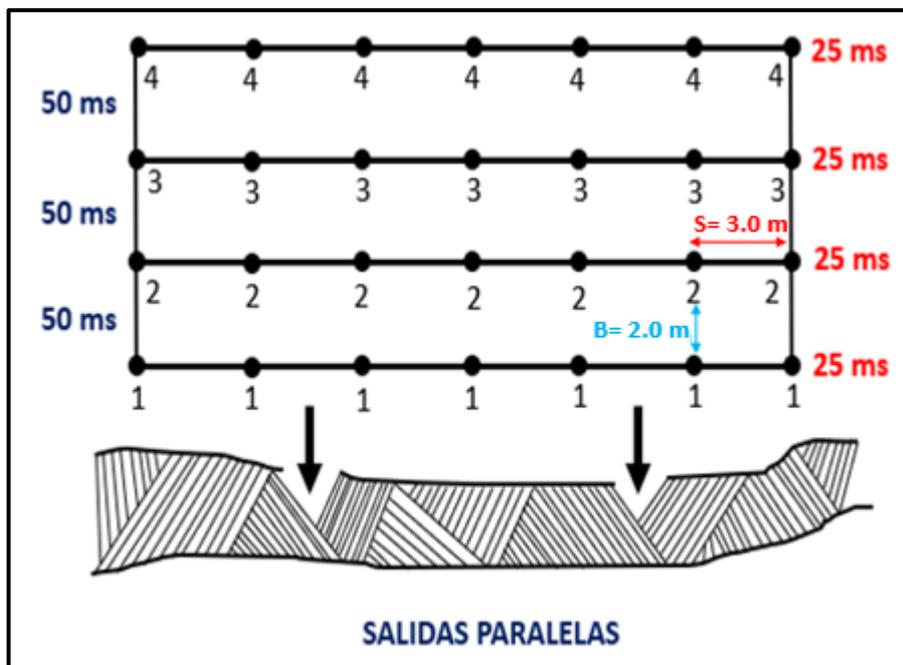


Figura 38. Salida en paralelo de una malla cuadrada

d) Sobreperforación (Sp)

Permite dar voladuras más limpias sin dejar un piso irregular, evitando salientes del material que impida las labores mineras (27). Comúnmente la sobreperforación se calcula de la siguiente manera:

$$SP = (0.3) * B$$

Donde

SP = sobre perforación (m)

B = bordo (m)

$$SP = (0.3) 2.0$$

$$SP = 0.60 \text{ m}$$

e) Longitud de taco (T)

Tiene la función de retener a los gases generales durante la detonación, durante fracciones de segundo, para evitar que estos gases fuguen y trabajen en la fragmentación y desplazamiento de la roca.

$$T = 0.7 \times B$$

$$T = 0.7 \times 2.0$$

$$T = 1.4 \text{ m}$$

f) Longitud o profundidad de taladro

$$LT = H + SP$$

Donde

LT: longitud de taladro

H: altura de banco

SP: sobreperforación

$$LT = 5 + 0.60$$

$$LT = 5.60 \text{ m}$$

Parámetros de voladura

Estos parámetros se encaminan para la obtención de una mejor fragmentación del mineral, facilitando las labores de remoción y transporte. La voladura marcará el avance de explotación.

a) Longitud de la carga

$$LC = LT - T$$

Donde

LC: longitud de la carga

LT: longitud del taladro

T: taco

LC = 5.60 m - 1.4 m

LC = 4.20 m

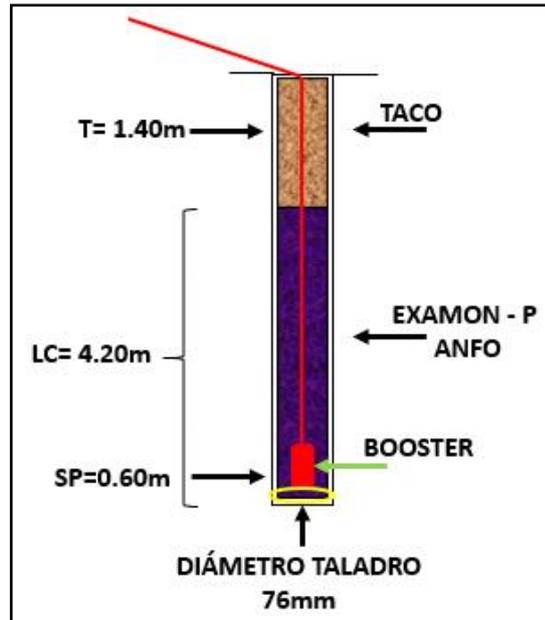


Figura 39. Diseño de los taladros en el proyecto

b) Concentración de carga de columna (QCC)

$$q_{cc} = 0.34 \times \phi^2 \text{pulg} \times p_{expl} \text{ resultado en lb/pie}$$

Donde

p_{expl} : densidad del explosivo

$\phi^2 \text{pulg}$: diámetro del explosivo al cuadrado, expresado en pulgadas (3")

q_{cc} : concentración de carga de columna

$$q_{cc} = 0.34 \times 3 \times 0.8$$

$$q_{cc} = 3.6 \text{ kg/m}$$

c) Cantidad de explosivo por taladro

$$qcc = 0.34 \times \phi^2 \text{pulg} \times p_{exp} \text{ resultado en lb/pie}$$

Donde

p_{expl} : densidad del explosivo

$qcc \times LC$

Donde

qcc : Concentración de carga de columna

LC: Longitud de la carga

3.6 kg/m x 4.2 m

15.12 kg de explosivo ANFO Examon-P por taladro.

d) Volumen por romper por taladro

$$V = B \times S \times H = m^3/\text{tal}$$

Donde

B: burden

S: espaciamiento

H: altura de banco

$$V = 2m. \times 3.0m. \times 5m$$

$$V = 30.0 m^3/\text{tal}$$

4.3.7. Desarrollo y construcción

A. Instalaciones de almacenaje y servicio

a) Cocina comedor

La cantera Chinchin contará con comedor de 50 m² para alimentar a los trabajadores, en esta infraestructura se ubicará el área de cocina y de comedor, con una extensión favorable para el descanso de los colaboradores. El comedor se ubicará con una distancia apropiada del tajo.

b) Casa almacén

En esta infraestructura se ubicarán las herramientas de uso personal como picos, palanas, carretillas, también los equipos de protección personal de cada trabajador; para ello el almacén será de un área de 20 m².

c) Cuarto de guardianía

Este espacio se acoplará en la casa almacén, en un lugar cercano a la puerta y con ventana para visión general de la cantera, a fin de que se pueda realizar la supervisión general a través de la ventana. Tendrá dimensiones de 2 m².

d) Oficina

Esta infraestructura se realizará en el segundo piso de la planta del comedor, lugar donde se llevará el control y la negociación del producto a explotar. Este espacio será dividido estratégicamente en áreas administrativas de la cantera.

e) Almacén de explosivos

En las instalaciones se harán trabajos de celosía, a fin de que los materiales explosivos se almacenen de manera que sus marcas sean visibles, y se colocará letreros de advertencia. Los materiales explosivos deberán almacenarse en una forma que haga fácil su cuenta y verificación en momentos de inspección.

f) Galpones

Se realizará la construcción del galpón para el almacén de la maquinaria, este galpón se realizará de manera óptima y espaciosa para que pueda estacionarse la maquinaria. Las dimensiones serán de 30 por 30 metros y 6 metros de alto.

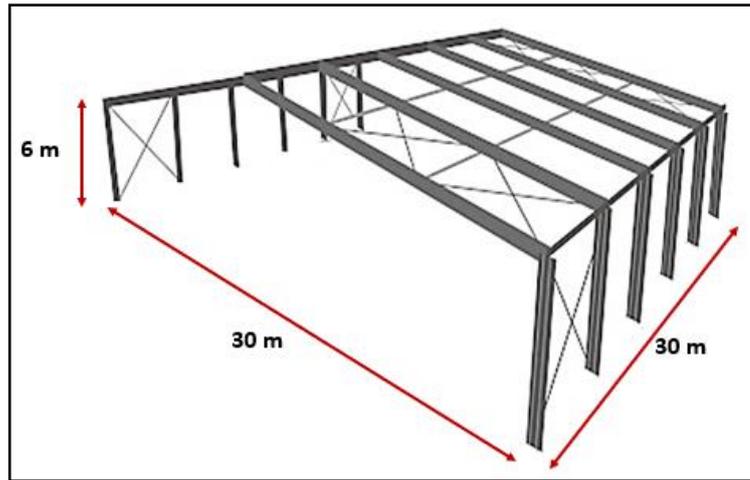


Figura 40. *Diseño de galpones en la cantera*

B. Instalaciones sanitarias

a) Letrinas

La cantera contará con un área sanitaria, que se ubicará junto a las instalaciones de comedor, se realizará de adobe, las dimensiones son de 5 m² con un hoyo de 2 metros de profundidad, por 0.80 metros de ancho. Se dará mantenimiento continuo a las letrinas, y se neutralizará con cal las aguas residuales domésticas.

b) Sistema de agua potable

El agua para estos fines será obtenida del sistema de agua potable existente en el sector del centro poblado de Otuzco, cuya fuente se ubicará a 30 metros hacia arriba de la operación y de cualquier componente minero de la operación.

En casos de emergencia podrá ser suministrada a través de agua de mesa envasada proveniente de la ciudad de Cajamarca; para ello, la cantera contará con un tanque de agua de 2000 litros. Asimismo, se promoverá el reciclaje y uso adecuado del agua.

C. Instalaciones de manejo de residuos

a) Depósito de residuos industriales y peligrosos

Debido a las operaciones que se realizarán en la cantera, se generarán todo tipo de residuos que necesitarán mantenimiento y un

buen manejo, por ello, se colocarán depósitos para residuos sólidos, que proporciona la normativa de colores para proyectos mineros.

El manejo de residuos se hará conforme indica la Ley General de Residuos Sólidos; considerando las siguientes acciones (27):

- Instalación de contenedores para la separación adecuada de residuos sólidos, considerando el código de la NTP 900.058 2005.
- Incitación de la segregación, el reúso y el reciclaje para reducir residuos sólidos.
- Prohibir la quema de residuos en el área de operación.
- Registrar los residuos sólidos de acuerdo a su tipo.
- Implementar zonas de almacenamiento central para los residuos peligrosos y aceites residuales.

D. Accesos

La cantera cuenta con un solo acceso principal hacia las instalaciones, que es una trocha afirmada de 6 metros de ancho, que va por el desvío hacia Tauripampa, que pasa por la cantera.



Figura 41. Principal acceso a la cantera

E. Zona de parqueo

La zona de parqueo de la cantera se localizará en las cercanías al tajo, que servirá para el estacionamiento de la maquinaria y vehículos que lleguen a las instalaciones con diversos motivos, ya sea

supervisión, compra y venta, etc., la zona de parqueo contará con 625 m² de extensión.

F. Instalaciones de planta

a) Horno

Los hornos de la cantera serán del tipo continuo, serán hornos cilíndricos, con paredes de ladrillos continuos.

Se vaciarán los trozos de piedra caliza por la parte superior del horno, que se acumularán de mayor a menor, dejando una cavidad para el combustible (carbón antracita); luego se encenderá el horno, elevando la temperatura gradualmente, hasta que las piedras se presenten porosas, por los gases de combustión que circularán entre ellas y provocarán su descomposición; finalmente, se dejará enfriar y se extraerá la cal formada, corriendo la reja metálica de la parte inferior. La operación dura aproximadamente 24 horas.



Figura 42. Diseño referencial de hornos

b) Botadero o depósito de desmonte

El botadero se ubicará según el diseño de las instalaciones, más específicamente, en el plano de instalaciones en un lugar donde

exista un plano seminivelado que favorece el apilamiento de desmonte generado por la cantera.

La construcción de los botaderos se hará conforme estipula el Ministerio de Energía y Minas; el espacio será de forma alargada y la altura no deberá sobrepasar la cota altitudinal del entorno; asimismo, estará prohibido verter más cantidad de material dentro del botadero que el planificado.

G. Otras instalaciones

a) Plataforma de carguío

Esta plataforma se realizará en la cantera, en la parte plana que existe en la concesión, en este ambiente se realizará el carguío de caliza fragmentada sobre el volquete, esta plataforma tendrá una ubicación adecuada para que no afecte las operaciones mineras. La plataforma constará de 875 m² de extensión, de 25 metros de largo y 20 metros de ancho, de forma rectangular; esta parte de la cantera será una superficie semiplana, de material estéril o cuaternario, que puede nivelarse para dar forma y condición a esta plataforma de carguío.

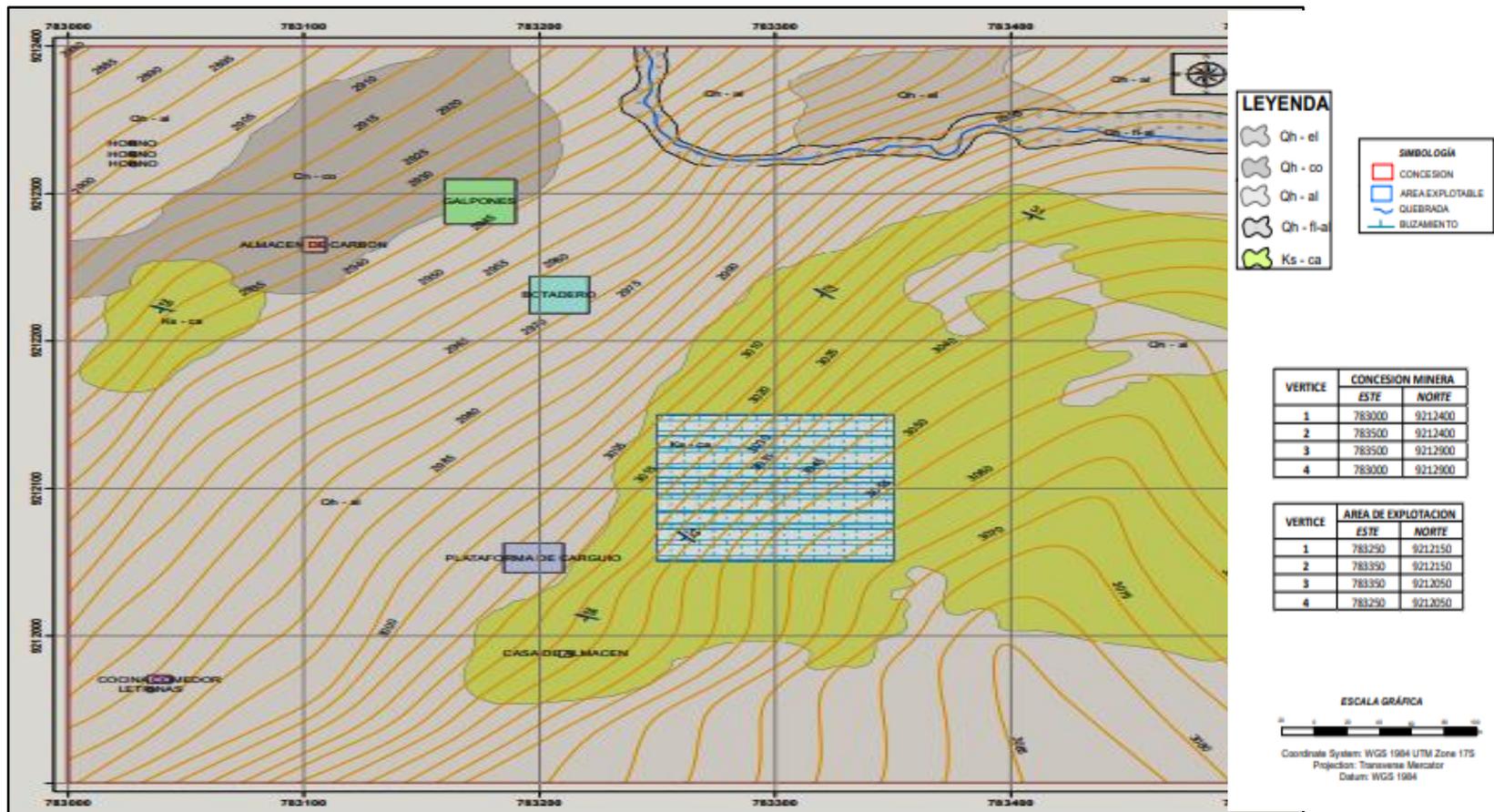


Figura 43. Plano de las instalaciones de la cantera Chinchin

4.4. Discusión

En la investigación se trazó como objetivo general evaluar la factibilidad de minado de la cantera Chinchin, para lo cual se planteó como objetivo específico realizar la evaluación geomecánica de la cantera Chinchin; los resultados muestran que, a partir del mapeo geológico, se evidencia que está conformada por rocas sedimentarias (calizas) pertenecientes a la formación Cajamarca, compuestas por carbonato de calcio (CaCO_3), presenta un color gris con fracturamiento concoideo; se determina que el RQD = 56, para lo cual se usó como instrumento el martillo geológico (picota); asimismo, se determina que el macizo rocoso de la cantera es de calidad regular, con un RMR= 60, según la tabla de Bieniawski (1); que se asemeja a los resultados de Piérola (9), quien concluyó que la cantera que estudió tenía un RMR= 57 de, determinando que es una roca de calidad, además, la resistencia compresiva uniaxial variaba de 50.34 a 95.55 MPa (9). Si bien, la caracterización del macizo rocoso pertenece a la misma formación, y tiene parámetros similares, los instrumentos de obtención de datos fueron diferentes.

Por otro lado, Chávez (10) concluyó que la roca de la cantera que estudió es una roca de buena calidad, y obtuvo el RMR= 92; presentando una notoria diferencia con los resultados de la presente investigación, esto puede deberse a que se encuentran en zonas diferentes (11).

Además, se planteó el objetivo específico de determinar el método de explotación de la cantera Chinchin; los resultados muestran que el método de explotación sería a tajo abierto, mediante bancos superficiales para conformar los taludes y bermas correspondientes; coincidiendo con el método de explotación por bancos descendentes para la cantera que estudió Sierra (6); igualmente, Guerrero (11) determinó que en la calera que estudió se usaría el método tipo canteras con bancos descendentes, para evitar accidentes (11). El método a tajo abierto permite explotar grandes volúmenes de mineral.

CONCLUSIONES

1. Es factible la explotación de la cantera Chinchin, debido a que a partir de la caracterización del macizo rocoso se determinó que es de regular calidad y presenta más de 90% de potencial para la obtención de cal, dicho insumo es uno de los más demandados debido a su importancia para la industria minera, constructiva, agrícola y sanitaria.
2. La cantera Chinchin está conformada por roca caliza (CaCO_3) perteneciente a la formación Cajamarca; presenta un RQD = 56, un RMR= 60, por lo que se determina que el macizo rocoso es de calidad regular y posee una resistencia a la compresión uniaxial de 75 MPa.
3. El método de explotación que se emplearía en la cantera Chinchín sería a tajo abierto, mediante bancos de 5 metros de altura, con un ángulo de talud de 70° , altura de banqueta de 1.2 metros, y longitud de berma de 5.5 metros.
4. Los equipos de mayor relevancia que formaron parte del presente proyecto son, perforadoras AirROC D35 cuyo diámetro de barreno es de 76 mm, camiones volquete FMX 8x4R de 16 a 18 t de capacidad de carga.
5. Para realizar la voladura se usará ANFO Examon-P, cordón detonante *Exsacord* NP 05 de 5.5 g/m, para la iniciación de la malla de la cantera Chinchin se realizará con detonador no eléctrico Exsanel MS de 50 m, como cebo se empleará *Booster* de pentolita “EXSAPRIME” al nivel del piso del banco, con un peso de 1 libra (450 g), de dimensión unitaria (largo) 121.0 mm y dimensión unitaria (diámetro) 60 mm y, por último, para iniciar la detonación se usará el “Detonador ensamblado” compuesto por un fulminante simple N.º 8, un tramo de mecha de seguridad, un conector y mecha rápida.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **BIENIAWSKI.** Clasificación geomecánica RMR, parámetros y tablas . *Geologiaweb*. [En línea] [Citado el: 10 de octubre de 2021.]
<https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/clasificacion-rmr/>.
2. **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, (Minem).** Anuario Minero. [En línea] diciembre de 2018. [Citado el: 7 de mayo de 2021.]
[https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/ANUARIOS/2018/AM2018\(VF\).pdf](https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/ANUARIOS/2018/AM2018(VF).pdf).
3. **MYCAL.** Los usos y aplicaciones más comunes de la cal. *Mycal*. [En línea] 30 de julio de 2019. [Citado el: 7 de mayo de 2021.] <https://mycal.com.pe/los-usos-y-aplicaciones-mas-comunes-de-la-cal/>.
4. **DÍAZ, Alejandra y RAMÍREZ, José.** *Estudio geológico económico de rocas y minerales industriales en la región Cajamarca*. 2015. 0378-1232.
5. **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, (Minem).** Guía para pequeños mineros y mineros. [En línea] marzo de 2011. [Citado el: 14 de agosto de 2021.]
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/regionales/Publicaciones/Guia-Peque%C3%B1os-Artesanales.pdf>.
6. **SIERRA, Diana.** *Diseño y planeamiento minero para la cantera de Muro de la Dos, propiedad de Cementos Argos, en el municipio de Nare-Antioquia*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia : s.n., 2017. pág. 102, Tesis para optar el título de ingeniero de minas.
7. **ÁLVAREZ, Ivan.** *Plan de explotación minera de la cantera C. A. cantera Yaracuy, municipio La Trinidad, sector Las Casitas, estado Yaracuy*. Venezuela : s.n., 2006. pág. 105, Tesis para optar el título de ingeniero de minas.
8. **CASTRO, Bryam.** *Propuesta de implementación de plan de minado en la cantera de Dolomita Jajahuasi 2001 de la comunidad campesina Llocllapampa – provincia de Jauja*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo : s.n., 2015. pág. 140, Tesis para optar el título de ingeniero de minas.
9. **PIÉROLA, Demetrio.** *Optimización del plan de minado de cantera de caliza La Unión, distrito de Baños del Inca – Cajamarca 2015*. Universidad Nacional

- del Altiplano. Puno : s.n., 2017. pág. 189, Tesis para optar el título de ingeniero de minas.
10. **CHÁVEZ, Ermes.** *Propuesta de plan de minado de la cantera los Chancas III 5 Hnos., distrito Bambamarca, provincia Hualgayoc, departamento de Cajamarca, 2018.* Universidad Privada del Norte. 2018.
 11. **GUERRERO, Kareen.** *Plan de minado para la explotación en la cantera Tuna Blanca, Santa Cruz.* Universidad César Vallejo. Santa Cruz : s.n., 2019. pág. 146, Tesis para optar el título de ingeniero de minas.
 12. **MINERALES, ROCAS Y.** Cantera. [En línea] 14 de junio de 2018. [Citado el: 28 de mayo de 2021.] <https://www.rocasyminales.net/cantera/>.
 13. **GLOSARIOS.** Clasificación de las canteras. *Glosario de minería.* [En línea] 28 de diciembre de 2013. [Citado el: 29 de mayo de 2021.] <https://glosarios.servidor-alicante.com/mineria/clasificacion-de-las-canteras>.
 14. **CHRISTIDIS, G.** *Avances en la caracterización de minerales industriales.* s.l. : Mineralogical Society of America, 2011. Vol. 9.
 15. *Estudio geológico económico de rocas y minerales industriales en la región Cajamarca.* **RAMÍREZ, Alberto y LA RIVA, Juan.** 9, 2011, Instituto Minero, Geológico y Metalúrgico. Boletín, Serie B: Geología Económica, pág. 272.
 16. *Limestone and Dolomite Resources of Africa.* **GWOSDZ, Werner.** 1996, Geologisches Jahrbuch Reihe D.
 17. **MITCHEL, Clive.** British Geological Survey. *High-purity limestone in the UAE.* [En línea] 10 de febrero de 2014. [Citado el: 10 de octubre de 2021.] http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/504811/1/High-purity_Limestone_UAE.pdf.
 18. **BOULANGGER, Elmer y SIPIÓN, Christian.** *Estudio de recursos de rocas y minerales industriales para la inclusión económica social y desarrollo en la región Cajamarca.* . Lima : INGEMMET, 2020.
 19. **SUPO, Bruno.** *Planeamiento de minería no metálica. Curso, elaboración de expediente técnico.*
 20. *Minado a cielo abierto: método de extracción mecánica.* **MINERA, SEGURIDAD.** [ed.] mayo. 10 de octubre de 2013, Revista Seguridad Minera, pág. 2021.
 21. **OSINERGMIN.** Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minas. *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y*

- cierre de labores subterráneas*. [En línea] 2017. [Citado el: 29 de mayo de 2021.]
22. **SOLANCIS**. Extracción. *Solancis*. [En línea] [Citado el: 30 de mayo de 2021.] <http://www.solancis.com/es/canteras/extraccion#:~:text=La%20exploraci%C3%B3n%20de%20la%20caliza,hace%20el%20an%C3%A1lisis%20del%20recurso>.
 23. **MINEM**. Guía de Orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético. Minería no metálica. *Dirección General de Eficiencia Energética*. [En línea] 2017. [Citado el: 3 de julio de 2021.]
 24. **VIERS, Georges**. *Geomorfología. Las rocas y su génesis*. . Madrid : Oikos Tau, 1973.
 25. **DERRUAU, Max**. *Geomorfología*. Barcelona : Editorial Ariel S.A., 1996.
 26. **DÁVILA, Jorge**. *Diccionario Geológico*. Lima : ArthAltuna, 2011.
 27. **PALMSTROM, Arild**. *The volumetric joint count . A useful and simple measure of the degree of rock mass* . New Delhi : IAEG Congress, 1982.
 28. **CRUZADO, Gilberto y CRISÓLOGO, Mirton**. Estudio de geología. *Gobierno Regional de Cajamarca*. [En línea] 2011. [Citado el: 30 de mayo de 2021.] http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Cajamarca/Memoria_Descriptiva_Geologia.pdf.
 29. **COPPER, SOUTHERN**. Glosario de términos. *Southern Perú*. [En línea] [Citado el: 30 de mayo de 2021.] <http://www.southernperu.com/ESP/opinte/Pages/PGGlosario.aspx>.
 30. **MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, (Mininería)**. Glosario Técnico Minero. [En línea] mayo de 2015. [Citado el: 30 de mayo de 2021.] <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/698204/GLOSARIO+MINERO+FINAL+29-05-2015.pdf/cb7c030a-5ddd-4fa9-9ec3-6de512822e96>.
 31. **REYES, Carlos y SÁNCHEZ, H**. *Metodología y diseños en la investigación científica*. Lima, Peru : Visión Universitaria, 2006. 978-9972-9695-3-9.
 32. **HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar**. *Metodología de la investigación*. México : McGraw-Hill, 2014. 978-1-4562-2396-0.
 33. **EXSA**. Academia.edu. *Manual práctico de voladura*. [En línea] [Citado el: 4 de agosto de 2021.]

https://www.academia.edu/23767654/MANUAL_PRACTICO_DE_VOLADURA_Edici%C3%B3n_especial_La_L%C3%ADnea_m%C3%A1s_Completa_para_Voladura_Das_Komplette_Sprengstoffprogramm_The_Most_Complete_Blasting_Line.

34. **CHURA, Wilberth.** Gerencia Regional de Energía y Minas, Moquegua. *Fundamentos sobre explosivos y la teoría de la detonación.* [En línea] 1 de octubre de 2018. [Citado el: 10 de agosto de 2021.]
<http://www.energiayminasmoquegua.gob.pe/web/phocadownload/capacitaciones/2-Fundamentos-sobre-Explosivos.pdf>.
35. **BUSTILLO, M. y LÓPEZ, C.** *Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras.* Madrid : Gráficas Arias Montano, 1997.
36. **SOSA, Humberto, KASPAR, N. y DOLGUSHIN, V.** Docplayer. Tecnología de la explotación de minerales útiles a cielo abierto. [En línea] 30 de octubre de 2015. [Citado el: 10 de agosto de 2021.]