

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO
BENEDICTO XVI
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE MINAS



**DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA MEDIANTE EL MÉTODO
DE RICHARD ASH PARA ACELERAR LA EXTRACCIÓN DE CAOLÍN
EN EL DISTRITO SAN BENITO**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL EN
INGENIERÍA DE MINAS**

AUTOR(ES)

Br. Julio César Guevara Diestra

Br. Yestín Andre Tapia Saenz

ASESOR

Mg. Ing. John Piter Bejarano Guevara

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Procesos y tecnología

TRUJILLO – PERÚ

2022



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Mons. Dr. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, OFM

Arzobispo Metropolitano de Trujillo
Fundador y Gran Canciller de la Universidad
Católica de Trujillo – Benedicto XVI

Dr. Luis Orlando Miranda Díaz

Rector de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

Dra. Silvia Ana Valverde Zavaleta

Vicerrectora Académica

Dr. Francisco Alejandro Espinoza Zavaleta

Vicerrector de Investigación

Mg. Breitner Díaz Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Mg. José Andrés Cruzado Albarrán

Secretario General



PÁGINA DE JURADO

Mg. Ing. Estuardo Bravo Asanza

PRESIDENTE

Mg. Ing. Luis Alva Reyes

SECRETARIO

Mg. Ing. John Bejarano Guevara

VOCAL



PÁGINA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

Yo, Bejarano Guevara John Piter, con DNI N°41520959, asesor de la Tesis de pre grado titulada:

“Diseño de perforación y voladura mediante el método de Richard Ash para acelerar la extracción de caolín en el distrito San Benito”; presentado por los bachilleres: Julio César Guevara Diestra, con DNI N° 73317058 y Yestin Andre Tapia Saenz, con DNI N° 76469213, informo lo siguiente:

En mi calidad de asesor, me permito conceptuar que la tesis reúne los requisitos técnicos, metodológicos y científicos exigidos según las normas establecidas en el reglamento de la Universidad Católica de Trujillo – Benedicto XVI.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación está en condiciones para su presentación y defensa ante un jurado.

Trujillo, 23 de noviembre de 2022

Mg. Ing. John Piter Bejarano Guevara

Asesor



DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi padre quien me ha apoyado económicamente a culminar mis estudios, a mi madre por haberme apoyado moral y psicológicamente con sus buenos consejos.

También se la dedico a mi tía Martha, a mi hermana y a mi sobrino, quienes han sido mi mayor motivación de seguir adelante en mis estudios y poder llegar a ser un profesional

Julio César Guevara Diestra

Esta tesis se la dedico a mi madre, quien me ha apoyado para poder llegar a esta instancia de mis estudios, ya que ella siempre ha estado presente para apoyarme moral y psicológicamente.

También la dedico a mis hermanos, quienes han sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo a seguir.

Yestin Andre Tapia Saenz



AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida y la salud, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. Agradecemos a nuestro asesor, quien nos brindó su apoyo absoluto para el desarrollo de tesis y a nuestros padres y familiares por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado y sobre todo por la absoluta paciencia que nos tuvieron a lo largo de nuestras carreras.

Agradecemos también a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al magíster John Bejarano Guevara asesor de nuestro proyecto de investigación quien nos ha guiado con paciencia y rectitud como docente en alentarnos de manera moral para seguir adelante.

También agradecemos a los habitantes de la comunidad de San Benito en Contumazá, por su valioso aporte para nuestra investigación.



DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Guevara Diestra Julio César con DNI 73317058 y Tapia Saenz Yestin Andre con DNI 76469213, egresados del Programa de Estudios de (Posgrado, Segunda Especialidad, Pregrado) de Ingeniería de Minas de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, damos fé que hemos seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos emanados por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, para la elaboración y sustentación del informe de tesis titulado: “Diseño de perforación y voladura mediante el método de Richard Ash para acelerar la extracción de caolín en el distrito San Benito”, el cual consta de un total de 83 páginas, en las que se incluye 11 tablas y 14 figuras, más un total de 11 páginas en anexos. Dejamos constancia de la originalidad y autenticidad de la mencionada investigación y declaramos bajo juramento en razón a los requerimientos éticos, que el contenido de dicho documento, corresponde a nuestra autoría respecto a redacción, organización, metodología y diagramación.

Asimismo, garantizamos que los fundamentos teóricos están respaldados por el referencial bibliográfico, asumiendo un mínimo porcentaje de omisión involuntaria respecto al tratamiento de cita de autores, lo cual es de nuestra entera responsabilidad. Se declara también que el porcentaje de similitud o coincidencia es de 18 %, el cual es aceptado por la Universidad Católica de Trujillo.

Los autores

Julio César Guevara Diestra

DNI: 73317058

Yestin Andre Tapia Saenz

DNI: 76469213



ÍNDICE DE CONTENIDO

Autoridades universitarias	ii
Página de jurado	iii
Página de conformidad del asesor	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Declaratoria de autenticidad	vii
Índice de contenido.....	viii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema General	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Formulación de Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación de la investigación	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.1.1. Internacionales	4



2.1.2. Nacionales	5
2.2. Base teórico científicas	8
2.3. Formulación de la hipótesis	21
2.3.1. Hipótesis general.....	21
2.3.2. Hipótesis específica	21
2.4. Operacionalización de variables	25
2.4.1. Variable independiente.....	21
2.4.2. Variable dependiente.....	21
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	23
3.1. Tipo de investigación	23
3.1.1. De acuerdo a la orientación o finalidad	23
3.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación	23
3.1.3. Línea de investigación	23
3.2. Métodos de Investigación	23
3.3. Diseño de investigación	23
3.4. Población, muestra y muestreo	23
3.4.1. Población.....	23
3.4.2. Muestra	23
3.4.3. Muestreo.....	24
3.5. Instrumentos, técnicas, equipos de laboratorio de recojo de datos	24
3.5.1. Herramientas de recolección de datos.....	24
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos	24
3.6. Análisis de información	25
3.7. Aspectos éticos en Investigación	25



CAPÍTULO IV. RESULTADOS	26
4.1. Presentación y análisis de resultados	26
4.1.1. Resultados de diagnóstico	26
4.1.2. Resultados del desarrollo	30
4.1.3. Comparación del desarrollo entre los métodos de aplicación.....	49
4.2. Prueba de hipótesis.....	51
4.3. Discusión de resultados	51
CAPÍTULO V.	53
CONCLUSIONES	53
SUGERENCIAS.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	55
Tesis de grado.....	55
Direcciones electrónicas	56
ANEXOS	59
Anexo N° 1: Matriz de consistencia	59
Anexo N° 2: Ficha técnica	62
Anexo N° 3: Imágenes In Situ	63
Anexo N° 4: Prácticas Pre Profesionales.....	66
Anexo N° 5: Prácticas Profesionales	68



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación entre valor RQD y la calidad de la roca	13
Tabla 2. Valoración del macizo rocoso	14
Tabla 3. Índice de calidad.....	15
Tabla 4. Operacionalización de variables.....	22
Tabla 5. Datos geológicos del terreno	26
Tabla 6. Especificaciones técnicas del explosivo	29
Tabla 7. Determinación de la relación de carga y explosivo.....	30
Tabla 8. Cálculos y costos de perforación.....	47
Tabla 9. Costo total de perforación y voladura	48
Tabla 10. Costos del caolín en el mercado actual.....	48
Tabla 11. Cálculos fundamentales de la teoría de Ash.....	49



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Designación de la Calidad de la roca (RQD)	14
Figura 2. Estimación del GSI basado en observaciones geológicas	16
Figura 3. Triangulación de puntos topográficos	27
Figura 4. Curvas de nivel de puntos topográficos	28
Figura 5. Triangulación en 3D.....	28
Figura 6. Medidas del modelo matemático de Ash	31
Figura 7. Distribución de taladros	39
Figura 8. Malla de perforación	41
Figura 9. Carguío de taladro	42
Figura 10. Carguío del taco	43
Figura 11. Voladura de corte en “V”	44
Figura 12. Detonación de la malla de perforación.....	45
Figura 13. Perforadora Sandvik DP 1100i.....	46
Figura 14 Resultados fundamentales del software	50



RESUMEN

La presente investigación consiste en diseñar una malla de perforación mediante el método de Richard Ash y acelerar la extracción de caolín. Esta investigación se realizó con la finalidad de garantizar una mayor demanda de mineral en cuanto a la producción de las minas del distrito San Benito, teniendo en cuenta que los rendimientos en base a la extracción cambian de acuerdo al mayor porcentaje de mineral por extraer.

Con respecto a la metodología de esta investigación es de orientación aplicada y contrastación pre experimental, su población está conformada por 4 concesiones mineras no metálicas que extraen caolín en la región Cajamarca, lo cual su muestra se enfocó en los primeros taludes de excavación en la zona A del distrito San Benito, el diseño se llevará a cabo utilizando el método de Richard Ash, lo cual consiste en desarrollar los cálculos matemáticos a través de ecuaciones y una serie de fórmulas obteniendo un resultado acertado para aplicar una malla de perforación.

Así mismo estos resultados son comparados a través del software JK Simblast, este software minero es práctico en desarrollar una voladura de minería a tajo abierto que nos permitirá visualizar la producción de caolín a gran escala logrando un mayor porcentaje de material roto a extraer.

Finalmente, se hace presente en esta investigación de tesis que actualmente las canteras de San Benito vienen haciendo uso exclusivo de palas neumáticas para el desgarro de material, retrasando la tasa de producción. Tomando en cuenta dos puntos importantes en la extracción de caolín, se comprueba de ambas formas su eficacia al aplicar voladura en el terreno tanto matemáticamente o por el uso del software JK Simblast.

Palabras clave: diseño, perforación y voladura, extracción, Richard Ash, JK Simblast



ABSTRACT

The present investigation consists of designing a perforation mesh using the Richard Ash method and accelerating the extraction of kaolin. This investigation was carried out with the purpose of guaranteeing a greater demand for ore in terms of the production of the mines of the San Benito district, taking into account that the yields based on extraction change according to the higher percentage of ore to be extracted.

Regarding the methodology of this research, it is of applied orientation and pre-experimental contrast, its population is made up of 4 non-metallic mining concessions that extract kaolin in the Cajamarca region, which its sample focused on the first excavation slopes in the area. A of the San Benito district, the design will be carried out using the Richard Ash method, which consists of developing mathematical calculations through equations and a series of formulas obtaining a successful result to apply a perforation mesh.

Likewise, these results are compared through the JK Simblast software, this mining software is practical in developing an open pit mining blast that will allow us to visualize the large-scale kaolin production, achieving a higher percentage of broken material to be extracted.

Finally, it is present in this thesis investigation that currently the quarries of San Benito have been making exclusive use of pneumatic shovels for tearing material, delaying the production rate. Taking into account two important points in the extraction of kaolin, its effectiveness is verified in both ways when applying blasting to the ground, both mathematically or by using the JK Simblast software.

Keywords: design, drill and blast, extraction, Richard Ash, JK Simblast



CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema.

Para Gaibor (2016) La minería es una función que modifica el medio natural en todo el mundo, por lo que se debe contar con un adecuado plan de acción que permita planificar, dirigir y realizar la minería de manera razonable, así como un adecuado plan de manejo ambiental que promueva el manejo racional. aprovechamiento de los recursos naturales recursos disponibles y provisión para el control de sus impactos, lo que también debe garantizar la eficacia, la seguridad y la rentabilidad en las diversas actividades y tareas. (p.1).

Según López (2016) argumentó que el territorio peruano actualmente es muy explotado por las empresas mineras, cuando se descubre una mina se cuantifica su potencial, deben evaluarla para su aprovechamiento económico, utilizar métodos modernos necesarios. Al mismo tiempo, la estabilidad de taludes es probablemente una preocupación importante en la operación de canteras, desde un punto de vista económico y de seguridad. (p.2). Así mismo, la Cámara Minera del Perú (CAMIPER Escuela de Altos Estudios, 2019) contribuye que la explotación de minas es una de las operaciones más importantes en la primera fase del sector minero. Su buena propagación y desempeño en terreno o terraplén es elemental para el progreso de un plan minero.

Para diseñar una malla de perforación en una mina de caolín es esencial realizar un estudio geológico y geomecánico del yacimiento mineral, como es el caso de las minas de caolín situadas en el distrito San Benito, Provincia de Contumazá, Región de Cajamarca.

Actualmente estas minas no cuentan con un método de perforación y voladura específica, la cual se encuentra ligada en un convenio con la Empresa de Cementos Pacasmayo, ya que dicha empresa demanda más productividad de mineral por motivos de



producción en su rubro. Es por ello que las minas de caolín del distrito San Benito requieren un nuevo método de explotación, con la finalidad de acelerar su extracción y así mantener el convenio de mercado con la Empresa de Cementos Pacasmayo. Dicho esto cabe resaltar que las minas de caolín utilizan maquinarias de carguío y acarreo para la extracción del mineral, ya que su productividad depende del factor de excavación que se realiza a diario mediante las palas neumáticas, lo cual conlleva a su baja productividad y no proporciona gran avance en el proceso de extracción del mineral, por tal motivo es necesario diseñar un método de perforación y voladura, que nos permita calcular mediante el método de Richard Ash todos los parámetros necesarios y demostrar a través de software la simulación del diseño óptimo de la tronadura.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿En qué medida influye el diseño de perforación y voladura mediante el método de Richard Ash para acelerar extracción de caolín en el distrito San Benito?

1.2.2. Problemas específicos

PE1: ¿En qué medida se podrá calcular los parámetros de perforación y voladura mediante el método de Richard Ash?

PE2: ¿De qué manera la aplicación de software JK Simblast de simulación contribuye a demostrar que el método de Richard Ash es el apropiado para el diseño de perforación y voladura?

PE3: ¿Cómo se podrá calcular el costo de operación total de acuerdo al diseño de perforación y voladura?



1.3. Formulación de objetivos

1.3.1. Objetivo general

Acelerar la extracción de caolín en el distrito San Benito mediante el método de Richard Ash en el diseño de perforación y voladura.

1.3.2. Objetivos específicos

OE1: Calcular mediante el método de Richard Ash los parámetros de perforación y voladura.

OE2: Demostrar a través de software JK Simblast la simulación en tiempo real el diseño de perforación y voladura.

OE3: Calcular el costo de operación total de acuerdo al diseño de perforación y voladura.

1.4. Justificación de la investigación

En este estudio se realiza una justificación social de un diseño de perforación con el propósito de acelerar la extracción de caolín, manteniendo la relación empresarial con la empresa de Cementos Pacasmayo e incrementar la rentabilidad y bienestar del trabajador y empresario minero.

Así mismo, de manera operacional permite demostrar mediante cálculos matemáticos (teoría de Richard Ash) y el software apropiado, la importancia de este método en minería a cielo abierto, debido a su gran concentración en el movimiento de tierras, mejorando la productividad de las empresas y garantizando la formación dentro de los más altos niveles de calidad y seguridad del trabajador minero.

Finalmente, se muestra económicamente que este diseño es capaz de garantizar los estándares de producción de mineral requeridos por la Empresa de Cementos Pacasmayo, afianzando la confianza entre ambas empresas y garantizando la estabilidad y credibilidad en el mercado.



CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

Rubio (2018) para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas en la Fundación Universitaria del Área Andina Valledupar Colombia, presento la siguiente investigación titulada “Implementación de parámetros de perforación y voladura en el nivel 70, frente 1 de la cantera planta Tolú Viejo de la Empresa Cementos Argos S.A” su objeto principal es efectuar la tronadura implementando criterios de perforación. Llegando a la conclusión que la forma de la malla perforada está relacionada con el comportamiento granular del mineral, por lo que es muy esencial tener una buena malla, teniendo los parámetros apropiados permitirá obtener una optimización del material oscuro hacia el procedimiento de chancado. Posteriormente, optimizando los parámetros, afectará positivamente a los participantes secundarios, materiales utilizados para las voladuras, mano de obra, tiempo de perforación y otros costos, haciendo que las operaciones sean más productivas y eficientes.

Correa y Martínez (2017) tesis para obtener titulación en Ingeniería de Minas, Modalidad Monográfica en la Universidad Pedagógica Tecnológica de Colombia, presentó la siguiente investigación denominada “Diseño del sistema de perforación voladura en los bancos D, E y F en la mina de caliza el Tesoro, Tiene como objetivo principal desarrollar sistemas de explotación en los márgenes D, E y F en la cantera caliza El Tesoro” lo cual lo realizó a través de una investigación de nivel explicativo y de carácter experimental, llegando así a la conclusión que el proyecto propuesto es rentable al reducir significativamente los costos de extracción mientras mantiene parámetros que cumplen con las regulaciones ambientales, así como el rendimiento de clasificación de voladura, lo que permite a la empresa reducir aún más los costos de extracción, tronadura y operaciones. Sin



embargo, sí recomienda implementar los equipos de perforación recomendados de acuerdo con la operación actual, con desempeño favorable y aspectos geométricos de la red diseñada, para asegurar la fragmentación para agilizar el proceso de trabajo.

Quiroga (2013) obteniendo la Titulación en Ingeniería de Minas, en la Universidad de Chile, presentó la siguiente investigación titulada “Análisis de la perforación y voladura en el Soldado” su objetivo principal es sugerir posibles correcciones de proyectos de perforación y voladura, mejorar los resultados de medición de granos y sacar conclusiones sobre el uso de Emultex. (agente de voladura a granel para perforaciones de diámetro intermedio), debido a su alto poder rompedor y al gran volumen de gases que produce. Además, con ello se elimina la complicación de cambiar el explosivo debido a la presencia de agua.

2.1.2. Nacionales

Mamani (2019) para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en la Universidad Nacional del Altiplano, presentó la siguiente investigación titulada “Optimización de la fragmentación y diseño de malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A. Valeria - Anabi S.A.C” su tarea principal es optimizar el proceso de fragmentación y elaborar la malla de procesamiento para los trabajos operaciones de tronadura, en la cual concluye que, con un mejor control sobre el tamaño de la celda al variar y la cantidad correcta de explosivo, se obtendrá una mejor fragmentación, con una buena fragmentación mejorará la eficiencia del equipo de manejo de materiales, aumentará la tasa de recuperación de minerales y reducirá los costos operativos.

Figuroa (2017) adquiriendo el Título Profesional de ingeniero de minas, en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, presenta el siguiente estudio “Diseño de perforación y voladura aplicando la teoría de Richard Ash, para la mejora de la fragmentación” tiene como objetivo principal, aplicar el diseño de explosión teórico del



modelo Ash para mejorar su granulometría en Compañía Minera Antamina S.A. realizado a través de un estudio descriptivo no experimental, concluyendo que la investigación realizada permite hacer un programa a la medida de cualquier pozo, pero teniendo en cuenta el tipo de roca así como los posibles cambios posteriores en la región.

Soto y Tarazona (2016) optando el Título de Ingeniero de Minas, en la Pontificia Universidad Católica del Perú, presentó la siguiente investigación titulada “Implementación de una aplicación de acarreo en minería superficial” desarrollando un simulador como una herramienta para ayudar a estimar los tiempos del ciclo de transporte, permitiéndole visualizar las rutas de un proyecto o actividad inconclusa. Obteniendo resultados cuantificables y se pueden comparar eligiendo la mejor alternativa. También se introduce un módulo de control del sistema de carga de cangilones, que determina el tiempo de carga y muestra el análisis de siniestros de viaje, este módulo debe usarse en situaciones donde se necesita restaurar la productividad y evitar colas en el área de carga. Concluyendo que, durante el proceso, se determinó un factor de corrección del 90 %. El tiempo de ciclo estimado en el emulador FPM usando un factor de corrección es 0 % y en el emulador FPC es 11 %. Se dice que la capacitación periódica e intensiva de los operadores de equipos y voladura eficiente aseguran altos factores de llenado, tiempos de carga más rápidos y transporte fluido ahorrando un 20 %.

Aguilar (2015) obteniendo el Título de Ingeniero Minas de la Universidad Privada del Norte, presento la siguiente investigación titulada “Productividad en el carguío y acarreo de materiales que contienen altos porcentajes de arcillas al utilizar un diseño de lastre adecuado en minera Yanacocha, Perú - 2015” su objetivo principal es mejorar el desempeño de los equipos de manejo de materiales en áreas con alto contenido de arcilla mediante la selección de balastos adecuados a las condiciones constructivas del material a tratar. Observando el desarrollo operacional se encontró que la calidad del balasto incide



directamente en la producción y por ende el retorno de la inversión en camiones y equipos modernos, la productividad y capacidad de elevación aumenta en 69 % hasta un 91 %, además de ahorrar un millón de dólares en costos de operación y eficiencia por cargador (cuchara) por día.

Delgado (2014) presento la siguiente investigación “Estrategias en el diseño de perforación y voladura para estructuras aledañas controlando vibraciones y rocas al aire en minas a tajo abierto” el objetivo principal de desarrollar un método apropiado de perforación y explosión, alrededor de las estructuras principales e inversas, evitando volar y controlar las vibraciones en un campo remoto, convirtiéndose en un método de permiso. Explosión sin dañar la infraestructura cercana debido a la liberación de piedra y alta vibración. Este método garantiza el 100 % sin daño cerca de la infraestructura, ya que ha determinado que el factor principal del desarrollo de carga es identificar explosivos de baja densidad que ayudan a la producción de gas bajo y proporcionan distribución. La mejor carga explosiva en la columna de perforación en la columna de perforación la columna de perforación.

Barcenas (2014) presento la siguiente investigación “Implementación de un plan de seguridad en la perforación y voladura del tajo abierto de minera Antamina” tiene como propósito principal evaluar el impacto de las inyecciones en la cantera minera Antamina en la seguridad y salud de los trabajadores, lo que nos permite desarrollar e implementar un plan de seguridad y salud ocupacional, afirmando que a través de este proyecto se reconocen y utilizan internacionalmente métodos de control en seguridad y salud de los trabajadores en relación a los riesgos laborales y mediante la implementación del sistema de seguridad se protegerá no solo a los trabajadores, sino también a la sociedad y al medio ambiente, de manera que se logren buenas condiciones internas y externas, potenciando la imagen de la empresa.



Paucar (2012) obteniendo el Grado de Titulación en la Universidad Nacional del Centro del Perú, presento la siguiente investigación titulada “Diseño de malla de perforación y voladura en frentes para optimizar la voladura en la mina San Genaro” su objetivo principal fue evaluar la efectividad del diseño de la red de voladura frontal mejorando las operaciones de voladura en San Genaro de la Cía. Minera Castrovirreyña S.A., realizado a través de un estudio piloto, aumenta la efectividad de los disparos y reduce el costo unitario de explosivos, lo que permite obtener más ingresos que costos, debido a que mayor utilidad tiene menor costo.

2.2. Base teórico científicas

Perforación de rocas

Es la primera actividad preparatoria para una voladura en minería, la principal función es perforar taladros en la roca para almacenar explosivos y accesorios de arranque denominados brocas, sondeos o voladuras, este procedimiento es esencial para lograr una mejor manipulación del explosivo y utilizar mejor la fuerza de expansión. (Saavedra Navarro, 2015).

Basándose en los principios mecánicos de impacto y rotación, cuyos efectos al ser sometido a fricción, hace que la roca se agriete y se desmorone conforme a la circunferencia de la roca y a una profundidad definida por la longitud del macizo rocoso, el efecto de perforación es lograr la máxima profundidad con el mínimo presupuesto. (Centro Tecnológico de Voladura EXSA, 2019).

Los métodos de perforación más comunes son rotativos y rotopercutivos, siendo este último es el sistema de perforación de barrenos más clásico, la perforación con martillo rotopercutivo se basa en una combinación de las siguientes acciones: martillar, rotar, empujar y barrer. (Díaz et al., 2012).



La perforación está directamente relacionada con la dureza y el desgaste de la roca, su fragmentación de rocas es considerada principalmente la más importante en la minería por su influencia directa en el proceso operacional, su dureza de la roca determina el método de perforación utilizado sea por, rotación simple o impacto rotatorio, en general cuanto más blanda es la roca, mayor es la velocidad de perforación, por otro lado cuanto mayor es la resistencia y compactación, mayor es la fuerza y el torque requeridos para perforarlo. (Centro Tecnológico de Voladura EXSA, 2019).

Voladura

La explosión es uno de los principales métodos para la extracción de minerales en la minería a cielo abierto, su función principal de las voladuras es triturar rocas y esto requiere una gran cantidad de explosivos, que liberan una gran cantidad de energía en una explosión solo el 20 - 30 % se usa para romper y mover rocas y el resto de la energía se desperdicia como efectos adversos en el medio ambiente. (Saavedra Navarro, 2015).

Una explosión es la ignición de una gran cantidad de explosivo en el desarrollo de una voladura, incluye agujeros de carga creados durante la perforación con un explosivo que al impactar se genera una liberación de energía y por reacción, se libera el gas a alta presión y temperatura casi instantáneamente, explotando, destruyendo o removiendo una cantidad del material de acuerdo con las condiciones de disparo. (Glosario de Tecnología Minera, 2003).

La fragmentación de rocas explosivas está relacionada con el impacto del explosivo y la reacción posterior de la fuente orogénica circundante, incluido el periodo cronológico, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros factores, en un mecanismo de repetición rápido y complejo. (Centro Tecnológico de Voladura EXSA, 2019).



La trituración de orogén ocurre inicialmente después de la explosión, el impacto de conmoción vibracional y el gas que se expande rápidamente sobre el pozo taladrado y se transfiere a la roca circundante difundiéndose a través de ella como una onda o fuerza de compresión, causando solo una deformación elástica porque la roca es comprimible muy alta, cuando estas ondas alcanzan el frente de explosión crean tensiones de tracción en la masa rocosa entre la superficie y el pozo, después de exceder el límite de resistencia a la roca esta colapsa en una carga más pequeña, en este caso, la onda reflejada es la onda de tensión que regresa al lugar original, creando fisuras de tensión, grietas y planos naturales débiles existentes, fisurándola profundamente. (Centro Tecnológico de Voladura EXSA, 2019).

Simultáneamente, las masas de gas liberadas se expanden e ingresan a las grietas originales, ensanchándolas por acción de cuña y creando nuevas grietas, por lo que la roca se tritura de manera efectiva. Si la distancia entre el agujero y la pared libre se calcula correctamente, la roca entre los dos puntos cederá. Los gases restantes luego empujan rápidamente la masa fragmentada hacia adelante hasta que pierde su fuerza a medida que se enfría y expande la masa formada en la roca, durante este tiempo los escombros descenden y se acumulan para formar una pila de material estéril completando la tronadura. (Centro Tecnológico de Voladura EXSA, 2019).

Modelo matemático de perforación y voladura de Richard Ash

Ash (1963) publicó una ecuación para su uso en la voladura abrasiva en la que se combinaron varias variables numéricas efectuando cálculos teóricos de redes de perforación, factor de carga y factor de potencia, fue uno de los primeros investigadores en describir este proceso como: “Una energía generada durante la detonación de la mezcla explosiva que se mueve como una onda, con cada cambio de densidad, parcialmente reflejada y parcialmente refractada, la energía restante continúa moviéndose en la dirección inicial hasta que ocurre



otra roca o cambio de densidad por sí solo y así sucesivamente hasta encontrar una superficie libre” (Pernia et al., 1987, p. 277).

De manera similar, Ash ha desarrollado cinco criterios básicos para evaluar la potencia de fuego en las minas a cielo abierto, las cuales son las siguientes:

- Ratio de dimensión de carga (kb):

Es la relación de la carga y el diámetro del explosivo (pulg.) es la siguiente:

$$kb = 12 \times (B/De)$$

Donde:

B: Burden (pies)

kb: Factor utilizado de tablas en función de tipo de roca y tipo de explosivo.

De: Diámetro de la carga explosiva (pulg.)

- Ratio de profundidad del taladro (kh)

Relación de la profundidad del taladro a la carga medidas en pies.

Donde:

L: profundidad de taladro (pies)

B: Burden (pies)

$$kh: 1.5 - 4$$

1.90, promedio y óptimo

- Ratio de sobreperforación (kj)

Es la relación de la sobre perforación a la carga medidos en pies.

$$kj = J/B$$

Es necesario perforar debajo de la cota de piso para tener mejor seguridad de evitar toes y voladuras secundarias posteriores.

Donde:



J: Sobreperforación (pies)

B: Burden (pies)

Kj: 0.3

- Ratio de taco (kt)

Es la relación de la distancia del cuello a la carga ambos en pies:

$$kt = T/B$$

Donde:

T: Longitud de taco (pies)

B: Burden (pies)

kt: 0.7 – 1.0

- Ratio de espaciamiento (ks)

$$ks = S/B$$

Donde:

S: Espaciamiento (pies)

B: Burden (pies)

ks: 1, retardos largos

1-2, retardos cortos

1.2 – 1.6, promedio y óptimo

Clasificación geomecánica

El propósito principal es evaluar la geomecánica del macizo rocoso estudiado mediante pruebas sencillas y observaciones de campo, existen diferentes tipos de clasificación que consideraremos: además, consideraremos rocas RQD, RMR y Q por geología a partir de observaciones de campo. (Chura, 2016, p. 94).



- Designación de la calidad de rocas (RQD)

El RQD fue desarrollada por Deere et al. (1967) para una evaluación cuantitativa en el macizo rocoso, ver (Tab. 1) basado en el testimonio realizado del testigo, indirectamente depende del número de grietas y del grado de variación del bloque. (Chura, 2016, p. 58).

Tabla 1

Descripción del RQD y la calidad de la roca

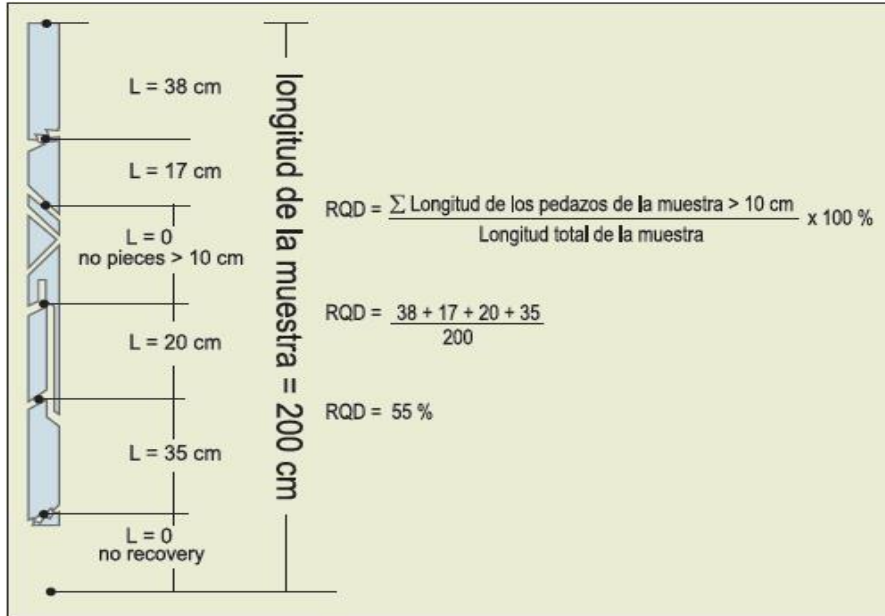
RQD %	Calidad de roca
< 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente

Nota. Deere, D.U. and Deere, D.W. 1988. The rock quality designation (RQD) index in practice.

El diámetro del núcleo debe ser igual o superior a 57,4 mm y debe perforarse utilizando un barreno de extracción de núcleo doble. RQD es el porcentaje de segmentos 10 cm más largos que la longitud total del control observado.

Figura 1

Designación de la calidad de la roca (RQD).



Nota. Instituto de Seguridad Minera – ISEM.

- Valoración del macizo rocoso (RMR)

Introducida por Benyavsky (1976) es probablemente la clasificación geomecánica más utilizada. Originalmente destinado a evaluar la estabilidad y el soporte requerido en el túnel, también ha demostrado ser adecuado para la evaluación de la estabilidad de taludes. (Chura, 2016, p. 60).

Tabla 2

Valoración del RMR

Clases	Descripción de la Calidad	RMR %
I	Excelente	90 - 100
II	Buena	75 - 90
III	Regular	50 - 75
IV	Mala	25 - 50
V	Muy mala	0 - 25

Nota. Bieniawski ZT 1976. Rock mass classification in rock engineering.



- Índice de calidad (Q)

Resuelto por IGN (Instituto Geotécnico de Noruega) basado en muchos ejemplos históricos de Escandinavia, planteó un índice de calidad del túnel (Q) para determinar las características del macizo rocoso y los requisitos de soporte del túnel, el índice Q tiene valores desde 0,001 hasta un máximo de 1000 en escala logarítmica. (Chura, 2016, 63 - 64 págs.).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

Número de familias de discontinuidades (J_n).

Numero de rugosidad de las discontinuidades (J_r).

Numero de alteración de las discontinuidades (J_a).

Factor de reducción por presencia de agua en las discontinuidades (J_w).

Factor de reducción por tensiones (SRF)

Designación de la calidad de la roca (RQD).

Tabla 3

Índice de calidad

Tipo de roca	Valor de Q
Excepcionalmente mala	0,001 - 0,01
Extremadamente mala	0,01 - 0,1
Muy mala	0,1 - 1
Mala	1 - 4
Medio	4 - 10
Buena	10 - 40
Muy buena	40 - 100
Extremadamente buena	100 - 400
Excepcionalmente buena	400 - 1000

Nota. InfoRock S.L.

- Índice de resistencia geológica (GSI)

Con la introducción del criterio de falla de Hoek y Brown, el uso de RMR ya no era apropiado especialmente para rocas débiles, por lo que se introdujo este criterio siendo un sistema para evaluar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en base a observaciones geológicas de campo, ver (Fig. 2). (Chura, 2016, pp. 65-66).

Figura 2

Evaluación y observaciones geológicas del GSI

(GSI) MODIFICADO						
De los códigos de letra definidos que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, seleccione el cuadro apropiado es esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor por ejemplo 38.						
ESTRUCTURA		CONDICIÓN SUPERFICIAL				
		MUY BUENA (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota)	BUENA (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, lig. abierta. (Rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota)	REGULAR (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota)	POBRE (moderadamente resist. moderam. alter.) superficie pulida o con estrías, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca. (Rc 25 a 50 MPa), (se indenta superficialmente)	MUY POBRE (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estría, muy abierta, con relleno de arcillas blandas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente)
	LEVEMENTE FRACTURADA Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fractura por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)	95	90	85	80	75
	MODERADAMENTE FRACTURADA Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)	85	80	75	70	65
	MUY FRACTURADA Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)	80	75	70	65	60
	INTENSAMENTE FRACTURADA Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 -25%) (Más de 20 fracturas por metro)	75	70	65	60	55
	TRITURADA O BRECHADA Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)	70	65	60	55	50
		65	60	55	50	45
		60	55	50	45	40
		55	50	45	40	35
		50	45	40	35	30
		45	40	35	30	25
		40	35	30	25	20
		35	30	25	20	15
		30	25	20	15	10
		25	20	15	10	5

Nota. Hoek E. 1994. Strength of rock and rock masses. ISRM News Journal.



Términos básicos

Perforación y voladura

- Anfo: Mezcla explosiva de nitrato de amonio y aceite (94 % y 6 % respectivamente) (Pernia et al., 1987, p.517).
- Banco: unidad principal de trabajo en forma de gran escalón, formado por un plano vertical o frontal y un plano horizontal o plataforma de trabajo (López et al., 1987, p.518).
- Columna de carga: la dinamita se coloca por encima de la carga por debajo y llega al tapón (Pernia et al., 1987, p.518).
- Carga de trabajo: es la cantidad total de explosivo que se considera que explota en menos de 8 ms en el momento de la detonación. (Martínez, 2009).
- Densidad: relación masa/volumen de objetos, rocas, explosivos, etc. (Exa, 2009).
- Detonación: reacción explosiva que consiste en la propagación de una onda de choque a través de un explosivo, seguida de una reacción química que libera una gran cantidad de gas a alta presión y temperatura (Osso, 2003).
- Detonador: Dispositivo iniciador en forma de mecha con retardo eléctrico (0.5 seg), microretardo (20 ó 30 ms) o acción instantánea. También difieren según la legumbre que contengan (Bernaola et al., 2013, p.111).
- Escombros: partículas de roca o desechos de la perforación de pozos (Castilla et al., 2013).
- Diámetro crítico: diámetro por debajo del cual no se produce la detonación estable de un explosivo (Herrera et al., 2013, p. 81).
- Dilución: La mezcla de minerales con material estéril es inútil. (Tecnología de voladura por soplado para el control de la dilución en la minería de metales, consultoría sobre voladuras, 2009).



- Factor de retardo: dispositivo iniciador para retardar la explosión de una carga con respecto a otra (Pernia et al., 1987, p.520).
- Emulsión: Material fulminante en el que se disuelve nitrato de amonio en agua y en forma pequeña rodeado de combustible (Ortiz et al., 1987).
- Energía de voltaje: energía transportada por la onda de choque generada por el explosivo (López et al., 1987, p.519).
- Error de perforación: la desviación geométrica del agujero de la muestra teórica (Pernia et al., 1987, p.519).
- Espaciado: distancia entre agujeros en una fila (López et al., 1987, p.519).
- Esponjas: aumentan el volumen de hielo después de la explosión.
- Explosión: proceso termoquímico en el que una mezcla de gas, líquido y sólido reacciona inmediatamente para formar un gas a alta presión y alta temperatura.
- Factor de carga: Este término se utiliza para describir la cantidad de explosivo utilizado para romper el volumen o masa de una unidad de roca (kg/m^3).
- Factor de energía: este término es similar al factor de carga, pero la energía de la explosión se expresa como una relación con la masa o el volumen de la roca rota (Pernia et al., 1987, p.520).
- Fila: Serie de agujeros alineados en el momento de la explosión (López et al., 1987, p.520).
- Iniciador: Dispositivo explosivo utilizado para detonar explosivos (Bernaola et al., 2013, p.91).
- Onda de detonación: Viaja a través de una carga explosiva más rápido que la velocidad del sonido en ese medio (López et al., 1987, p. 520).
- Precorte: Explota a lo largo del contorno del agujero pasante antes de disparar, creando un plano o sección de falla en la roca (Exsa, 2009).



- Predicción: el lanzamiento de fragmentos de roca en la explosión (Exsa, 2009).
- Estanqueidad al agua: La estanquidad de un explosivo varía considerablemente dependiendo de la composición del explosivo y de la forma en que se empaqueta (Exsa, 2009).
- Reperforación: La longitud del pozo está por debajo de la estimación original (Ortiz et al., 1987, p.522).
- Velocidad de detonación: la velocidad a la que se propaga la onda de detonación en un explosivo (Pernia et al., 1987).
- Velocidad de la partícula: la velocidad a la que se mueve una partícula terrestre desde su posición de reposo (López et al., 1987, p.522).
- Tasa de perforación: La tasa de perforación promedio del pozo tomando en cuenta el tiempo de no producción (Ortiz et al., 1987, p. 523).
- Onda de choque: movimiento oscilante de un medio sólido o líquido con propagación vibracional (Peralta, 1987).
- Tiro controlado: técnica de tiro realizada con una o dos caras en blanco sobre la mesa y agujeros verticales u horizontales (Exsa, 2009).

Procesos de extracción

“La fase carguío y acarreo corresponde a la extracción y movimiento del material picado desde el frente de trabajo” (Ortiz, 2008, p. 197). Que se divide en:

- Producción: Es el volumen o peso total del material a procesar en una operación en particular, esto puede aplicarse a los minerales extraídos de valor económico, así como a los materiales estériles que deben eliminarse para obtener los primeros. El mineral generalmente se mide con unidades de peso, mientras que el movimiento de desechos se expresa en volumen.



- **Productividad:** Corresponde al rendimiento teórico o al peso de una determinada máquina por unidad de tiempo. Regularmente se expresa en horas de producción, pero también se puede utilizar para un turno o un día de producción.
- **Eficiencia:** Se refiere al porcentaje de la productividad estimada en que se está utilizando el equipo. El índice de rendimiento se puede expresar como el número promedio de minutos trabajados.
- **Disponibilidad:** Es una parte del tiempo de operación programada en la que el equipo está mecánicamente listo para operar.
- **Utilización:** Es la fracción de tiempo disponible para la operación real del equipo.
- **Capacidad:** Se refiere a la cantidad de material que puede contener una carga o unidad de transporte en un momento dado.
- **Capacidad nominal:** es la capacidad de una unidad de equipo medida por la cantidad suprema que puede transportar, la mayoría de los equipos están diseñados para movilizar un peso específico en lugar de un volumen máximo. Así, la cantidad procesada necesitará de la densidad del material y variará con la densidad del mismo dispositivo, mientras que el peso máximo es constante y depende de la resistencia de los componentes del dispositivo.
- **Factor de hinchamiento:** el aumento fraccional del volumen de un material cuando se descompone y se retira de su estado natural (volumen in situ) y se deposita en un lugar no confinado (volumen no confinado). Se puede expresar como un decimal o un porcentaje.
- **Ciclos:** Así como la minería a menudo detalla etapas de operaciones unitarias, cada unidad de carga y operación de transporte se puede dividir en un ciclo ordenado por pasos o sub operaciones. Por ejemplo, los componentes más comunes del ciclo de carga para una sola unidad son: carga, transporte, descarga y retorno. La duración de cada



componente es la más importante, y la suma de los tiempos necesarios para completar los ciclos es igual al tiempo del ciclo.

2.3. Formulación de la Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

El diseño de perforación y voladura mediante el método de Richard Ash, acelera la extracción de caolín en el distrito San Benito.

2.3.2. Hipótesis Específicas

HE1: El método de Richard Ash permite calcular los parámetros de perforación y voladura.

HE2: A través de software JK Simblast de simulación se demuestra en tiempo real el diseño de perforación y voladura.

HE3: Calculando los costos de operación total del diseño de perforación y voladura, permite saber el costo de inversión aproximado.

2.4. Operacionalización de variables

2.4.1. Variable Independiente

Diseño de perforación y voladura.

2.4.2. Variable Dependiente

Acelerar la extracción de caolín.



Tabla 4

Operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	
Variable Dependiente: Acelerar la extracción de caolín.	Según Ortiz (2008) nos comenta que “La fase carguío y acarreo corresponde a la extracción y movimiento del material picado desde el frente de trabajo”	Esta actividad se evalúa para determinar el diseño apropiado para el equipo mejorado de recuperación de caolín.	Tiempo	Incremento de la extracción	Horas	
					Minutos	
			Volumen del terreno	Reservas	Segundos	
					Toneladas Métricas (TM)	
Variable Independiente: Diseño de perforación y voladura.	Según Saavedra (2015), “Es la primera actividad preparatoria para una voladura en minería, la principal función es perforar huecos cilíndricos en la roca para almacenar explosivos y accesorios”.	Mediante perforación y voladura, podemos acelerar la extracción y movimiento del material triturad.	Tipo de roca (Clasificación geomecánica)	RQD	<25% Muy pobre	
				RMR	25-50% Pobre	
			Cálculos Teóricos	Factor de carga	Q	50-75% Regular
					GSI	75-90% Buena
Factor de potencia	Resultados matemáticos	90-100% Muy buena				
		Kg/ton.				
Kg/m ³ .						
Metros cúbicos (m ³)						
Milímetros						
Centímetros						
Pulgadas						
Pies						

Nota. Elaboración propia.



CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. De acuerdo a la orientación o finalidad

Aplicada

3.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación

Pre Experimental

3.1.3. Línea de investigación

Procesos y tecnología - Operaciones mineras y metalúrgicas

3.2. Métodos de investigación

Según el enfoque: Cuantitativo Pre test – Post test, se busca evaluar el efecto del cambio al aplicar el método de Richard ASH en el diseño de perforación y voladura, comparando la posición final con la inicial.

3.3. Diseño de investigación

CUANTITATIVA PRE EXPERIMENTAL, es un procedimiento metodológico que busca establecer el posible efecto o influencia de una causa o hecho que se va a manipular.

3.4. Población, muestra y muestreo.

3.4.1. Población

Está conformada por 4 concesiones mineras no metálicas que extraen caolín en la Región Cajamarca, estas son: Cía. Minera Camelias, La Providencia, Lavasil y Tembladera.

3.4.2. Muestra

La muestra es no probabilística, está compuesta por los primeros taludes de la excavación de caolín en la zona A del distrito San Benito, región de Cajamarca.



3.4.3. Muestreo

El muestreo se realizó considerando los diferentes puntos de estratificación de laderas altas, medias y bajas en las zonas A, B y C de las minas de caolín, obteniendo muestras para cada uno de estos estratos identificados, donde el caolín tiene una ley de caliza (CaCO_3) de 97.35 % de pureza, según el Laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas de Lima (PLENGUE). Con una densidad de 2.6 y una dureza de 2, estas pueden tener diversos colores debido a pequeñas impurezas. Teniendo los volúmenes de toda la zona a explotar en el año 2018, se determina que el cuerpo mineralizado de San Benito tiene en reservas probadas 1832348.499 m³ de con un peso específico de 2.7 TM/m³ tenemos 4947340.947 TM de reservas.

3.5. Instrumentos, técnicas, equipos de laboratorio y recojo de datos

3.5.1. Herramientas de recolección de datos

- Exploración
- Identificación del macizo rocoso.
- Técnica del rompimiento del macizo rocoso.
- Ficha de muestreo.
- Análisis químico de la caliza.
- Levantamiento topográfico.
- Ingemmet – Geocatmin.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

- Estación total
- Teodolito
- GPS
- Prisma topográfico
- Instrumentos volumétricos



3.6. Análisis de información

- También se realizó un levantamiento topográfico de la zona para analizar los datos obtenidos.
- Aplicación del método de Richard Ash.
- Sistema informático electrónico utilizado para procesar los datos de este estudio: Microsoft Excel.
- Software de simulación JK Simblast.

3.7. Aspectos éticos en investigación

Este estudio se basa en las normas y reglamentos de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI. Asimismo, se respetará la propiedad intelectual, por lo que se citarán los textos y libros utilizados, así como la bibliografía pertinente.



CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Presentación y análisis de resultados

El problema se frecuente en las minas de caolín del distrito San Benito por la falta de productividad de mineral extraído de los taludes, debido a que, su factor principal de producción que se realiza a diario es mediante palas neumáticas, lo que conlleva a un bajo rendimiento laboral, por tal motivo diseñaremos una malla de perforación utilizando el método de Richard Ash y así acelerar la extracción de caolín.

4.1.1. Resultados del diagnóstico

Tabla 5

Datos geológicos del terreno

Datos geológicos	
Tipo de roca	Arcilla, caolinitica (mala deplorable)
Contextura	Ruptura de 0.3 - 0.5 m
Condición del terreno	Seco
Resistencia a la compresión	50 - 125 Mpa
Dureza	2
Densidad	2.6

Nota. Elaboración propia

Datos topográficos

La topografía se realiza en base a las medidas tomadas en la mina San Benito, recolectando todos los datos para ser llevados al programa de AutoCAD. Con la finalidad de obtener una mayor visión del área del terreno para ejecutar el diseño de perforación y voladura.



Figura 3

Triangulación de puntos topográficos

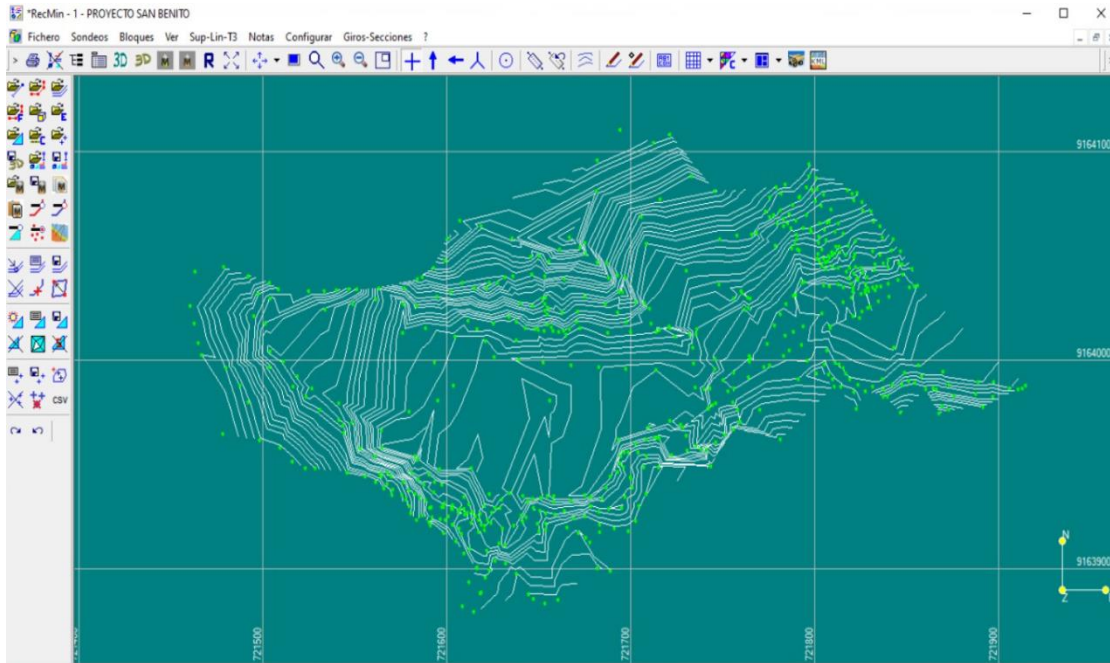


Nota. Elaboración propia realizada en el programa AutoCAD.

Basándonos en el modelamiento diseñado en AutoCAD, el siguiente paso a realizar es fijar todos los puntos topográficos a un programa más específico en cuanto a modelamiento de terreno, utilizando el software RecMin, programa que facilita crear modelos geológicos 3D y estimar recursos en minería a cielo abierto y subterránea. Para esta etapa es necesario tener los puntos topográficos del terreno, con la finalidad de facilitar una mayor visibilidad del área a explotar.

Figura 4

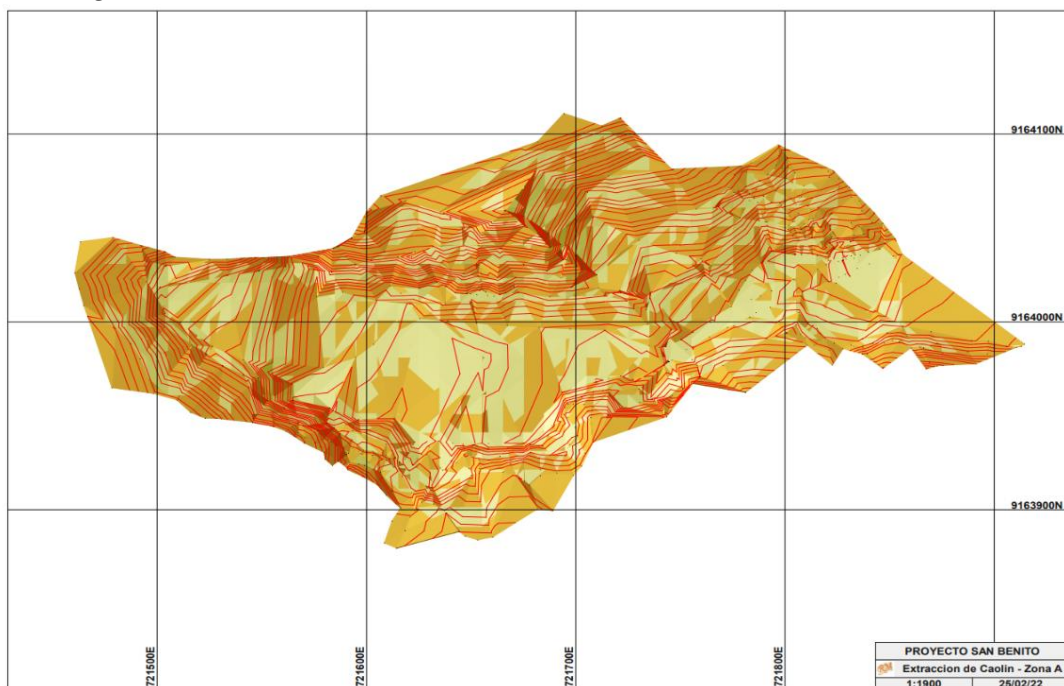
Curvas de nivel de puntos topográficos



Nota. Elaboración propia realizada en el software minero RecMin.

Figura 5

Triangulación en 3D



Nota. Elaboración propia realizada en el software minero RecMin.



Especificaciones de perforación


- Diámetro del taladro: 5'' (de acuerdo al tipo de roca).
- Altura de banco: H = 8.5 m
- Tipo de perforadora: Perforadora Sandvik DP 1100i montada sobre orugas.

Características del explosivo

- Anfo pesado
- Densidad de anfo pesado: 1.31 gm/cm³.
- Accesorios de voladura (booster, fanel, cordón detonante y otros).

Tabla 6

Especificaciones técnicas del explosivo

	Anfo pesado
Densidad relativa	1.31
Velocidad de detonación (m/s)	3000 - 5000
Presión de detonación (Kbar)	90
Energía (cal/g)	3140
Volumen normal de gases	1001
Potencia relativa en peso	84
Potencia relativa en volumen	128
Resistencia de agua	Excelente
Sensibilidad de booster hdp	1 libra

Nota. Famesa explosivos SAC.



4.1.2. Resultados del desarrollo

Aplicando el método de Richard Ash, para calcular el KB primero tenemos que analizar el tipo de roca y explosivo que utilizaremos. Teniendo en cuenta que la roca es muy fracturada por lo tanto será una roca tipo 5 y el explosivo que utilizaremos sería ANFO pesado, no es necesario utilizar dinamita porque la roca es muy suelta, entonces seguiremos el paso según la teoría de Ash:

Para explosivos pesados en roca blanda se usa el $K_b = 40$. Como también tenemos que tener en cuenta el diámetro del taladro que usaremos de 5 pulgadas, tomamos este diámetro por el motivo que no se necesita uno más grande por la roca misma.

Tabla 7

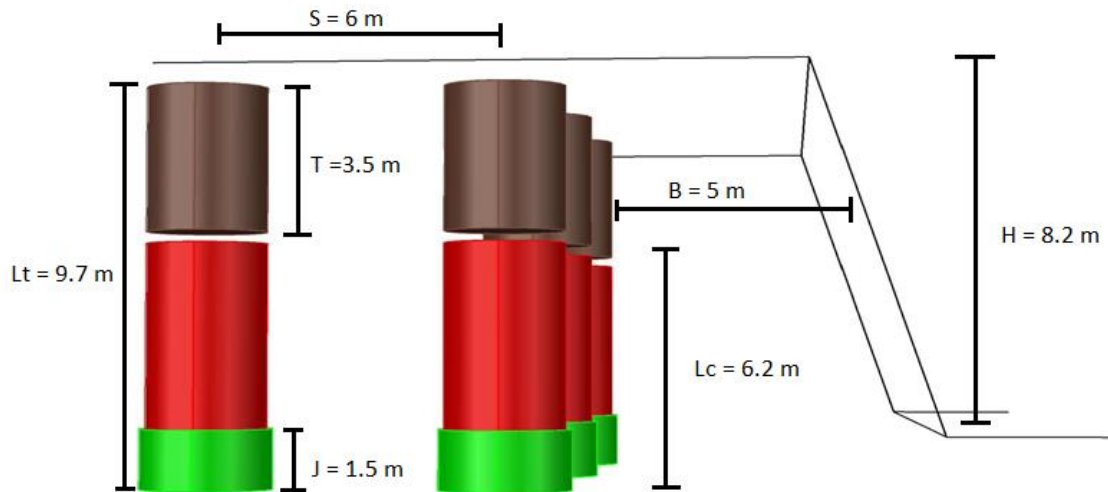
Relación de carga explosiva.

Clase de explosivo	Densidad del explosivo	Clases de roca		
		Blanda	Media	Dura
Baja	0.8 - 0.9 g/ m ³	30	25	20
Mediana	1.0 - 1.2 g/ m ³	35	30	25
Alta	1.3 - 1.6 g/ m ³	40	35	30

Nota: Repositorio Institucional UNASAM, Figueroa (2017).

Figura 6

Medidas del Modelo Matemático de Ash



Nota. Elaboración propia.

Cálculo del modelo matemático de Richard Ash

a) Cálculo del burden (B)

El Burden viene a ser la distancia en metros del centro del taladro cargado a la cara libre en una malla de perforación, y se desarrolla de la siguiente manera con los siguientes datos según la teoría de Richard Ash:

Kb: Relación de carga al diámetro del explosivo en pulgadas (40).

Dt: Diámetro del taladro (5 pulgadas).

$$B = \frac{Kb}{12} \times Dt \quad (1)$$

$$B = \frac{40}{12} \times 5$$

$$B = 16.666 \text{ pies}$$

$$B = 5 \text{ m}$$



b) Verificación de carga y diámetro de explosivo (Kb)

Se comprueba la relación de carga al diámetro de explosivo dado por la determinación de la relación de carga explosiva (tabla 6), el cual explica que para explosivos pesados en roca blanda se utiliza un KB de 40. Por consiguiente se procede a verificar de la siguiente forma la teoría de Richard Ash, teniendo en cuenta la conversión del burden de metros a pies:

B: Burden (5)

Dt: Diámetro del taladro (5")

$$Kb = 12 \times \frac{B}{Dt} \quad (2)$$

$$Kb = 12 \times \left(\frac{16,666}{5} \right)$$

$$Kb = 40$$

c) Cálculo de la sobre perforación (J)

Se refiere a la distancia a tomar en cuenta después del talud de banco, la cual es necesaria realizar la perforación de bajo de la cota piso para mayor seguridad y así evitar voladuras secundarias. Se halla de la siguiente manera según la teoría de Richard Ash tomando en cuenta los siguientes datos:

Se opta un k_j de 0.3 siendo el promedio óptimo utilizado en la fórmula de Richard Ash para roca fracturada.

B: Burden (5)

$$J = K_j \times B \quad (3)$$

$$J = 0,3 \times 5$$

$$J = 1,5 \text{ m}$$



d) Cálculo de profundidad del taladro (Pt)

Hace referencia a la profundidad de todos los taladros de producción que se realizarán en el talud de banco sin contar el pre - corte y se desarrollan con la siguiente fórmula según la teoría de Richard Ash, teniendo en cuenta los siguientes datos:

H: Altura de banco (8.2)

J: Sobre perforación (1.5)

$$Pt = H + J \quad (4)$$

$$Pt = 8.2 + 1.5$$

$$Pt = 9,7 \text{ m}$$

e) Cálculo de espaciamento (S)

Distancia existente de taladro a taladro el cual permite tener una mayor exactitud de distribución en la malla de perforación y se realiza con los siguientes pasos según la teoría de Richard Ash.

Se elige un ks de 1.1 por la misma condición del terreno la cual se determinó ser roca fracturada según su resistencia del macizo rocoso (RMR).

B: Burden (5)

$$S = Ks \times B \quad (5)$$

$$S = 1.2 \times 5$$

$$S = 6 \text{ m}$$



f) Cálculo del taco (T)

Se hace referencia a una parte de la longitud del taladro el cual no lleva explosivo para evitar una mala voladura con expulsión de roca, consta de los siguientes datos según la fórmula de Richard Ash:

Se prefiere un kt de 0.7 el más bajo para roca fracturada según el índice de Calidad (Q).

B: Burden (5)

$$T = Kt \times B \quad (6)$$

$$T = 0,7 \times 5$$

$$T = 3,5 \text{ m}$$

g) Cálculo de la longitud de carga explosiva (Lc)

Es la longitud del taladro que se cargará con explosivo teniendo en cuenta el taco, en este punto solo se aplicará a los taladros de producción, mas no a los de pre – corte, de acuerdo a la teoría de Richard Ash se determina de la siguiente manera tomando en cuenta los siguientes datos:

Pt: Profundidad del taladro (9.7)

T: Taco (3.5)

$$Lc = Pt - T \quad (7)$$

$$Lc = 9,7 - 3,5$$

$$Lc = 6,2 \text{ m}$$



h) Cálculo de carga explosiva por metro (C1m)

Aquí se define el peso del explosivo por cada metro de perforación, y se determina con los siguientes datos y su fórmula según la teoría de Richard Ash:

$dAnfo$: Densidad del anfo (1.31)

$\emptyset tal^2$: Diámetro del taladro (5")

$i?$: 0.507

$$C1m = dAnfo \times \emptyset tal^2 \times 0.507 \quad (8)$$

$$C1m = 0,31 \times 5^2 \times Ge \times 0.507$$

$$C1m = 0,31 \times 25 \times 0.507$$

$$C1m = 16.60 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Área de perforación} \Rightarrow \pi \left(\frac{5''}{2}\right)^2 \text{ m}^2 \quad (9)$$

$$\Rightarrow \pi \left(\frac{0.127}{2}\right)^2 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow 0.0127 \text{ m}^2$$

Hallando:

A perf: Área de perforación

H: Altura

d anfo: Densidad del anfo

$$A \text{ perf} \times H \times d \text{ Anfo} \quad (10)$$

$$0.016637 \times 1000 \text{ kg}$$

$$16.60 \text{ kg/m}$$

$$dAnfo \times \emptyset tal \quad (11)$$

$$1.31 \times (5)^2$$

$$32.75$$



Relacionamos ambas fórmulas

$$\frac{16.60}{32.75} = \mathbf{0.507}$$

i) Cálculo de carga total por taladro (Ct)

Se determina la carga explosiva total que se utiliza por cada taladro perforado y se halla de la siguiente manera, tomando en cuenta la fórmula de Richard Ash.

Lc: Longitud de carga

C1m: Carga por metro

$$Ct = Lc \times C1m \quad (12)$$

$$Ct = 6.2 \times 16.60$$

$$Ct = 102.92 \text{ kg/tal}$$

j) Material a explotar (Me)

En este punto se define la cantidad del material a romper, teniendo en cuenta los siguientes parámetros.

B: Burden

S: Espaciamiento

H: Altura

J: Sobre perforación

d roca: Densidad de la roca

$$Me = B \times S \times (H - J) \quad (13)$$

$$Me = 246 \text{ m}^3/\text{tal} \Rightarrow \text{material explotado en metros cúbicos}$$

$$Me = B \times S \times (H - J) \times d \text{ roca}$$

$$Me = 5 \times 6 \times (9.7 - 1.5) \times 2.65$$

$$Me = 651.9 \text{ kg/tal}$$



k) Factor de potencia (Fp)

En este punto se describe al factor de potencia como el poder de rompedor que ejerce el explosivo para fracturar una porción de macizo rocoso, esto en kg/Tm. Y se realiza con la siguiente fórmula según la teoría Richard Ash.

Ct: Carga total por taladro

Me: Material a explotar

$$Fp = \frac{Ct}{Me} \quad (14)$$

$$Fp = \frac{102.95 \text{ kg/tal}}{246 \text{ m}^3/\text{tal}}$$

$$Fp = 0.418 \text{ Kg/m}^3$$

$$Fp = \frac{Ct}{Me} \quad (15)$$

$$Fp = \frac{102.95 \text{ kg/tal}}{651.9 \text{ kg/tal}}$$

$$Fp = 0.158 \text{ kg/tal}$$

l) Factor de carga (Fc)

Este paso describe la cantidad de explosivos que se deben utilizar para romper una unidad de masa en kg/m³, en este caso el talud de banco, el cual se resuelve de la siguiente manera tomando en cuenta la teoría de Richard Ash.

C1m: Carga por metro (kg/m)

Me: Material explotado (m³/tal)

$$Fc = \frac{C1m}{Me} \quad (16)$$

$$Fc = \frac{16.60 \text{ kg/m}}{246 \text{ m}^3/\text{tal}}$$

$$Fc = 0.067 \text{ kg/m}^3$$



m) Terreno de banco (Tb)

Viene a ser todo lo que comprende en dimensión al terreno de banco que consta del largo de este, y se comprueba con la siguiente formula.

B: Burden (5)

S: Espaciamiento (6)

$$Tb = B \times S \quad (17)$$

$$Tb = 5 \times 6$$

$$Tb = 30 \text{ m}$$

n) Volumen total de la voladura del banco (Vt)

Comprende al total de volumen del macizo rocoso existente en el talud de banco, el cual se formula de la siguiente manera conforme a la teoría de Richard Ash:

Nº de taladros: Número de taladros (35)

Tb: Terreno de banco (30)

H: Altura de banco (8.2)

$$Vt = N^{\circ} \text{ taladros} \times Tb \times H \quad (18)$$

$$Vt = 32 \times 30 \times 8,2$$

$$Vt = 7872 \text{ m}^3$$

o) Tonelaje volado (Tv)

En este punto, se determina el tonelaje volado total del talud de banco a fragmentar haciendo uso del explosivo y estructuración de la malla de perforación respecto a la teoría de Ash, para ello se realiza mediante la siguiente fórmula.

Di: Densidad de la roca (2.65 g/cm³)

Vt: Volumen total de la voladura de banco (7872)



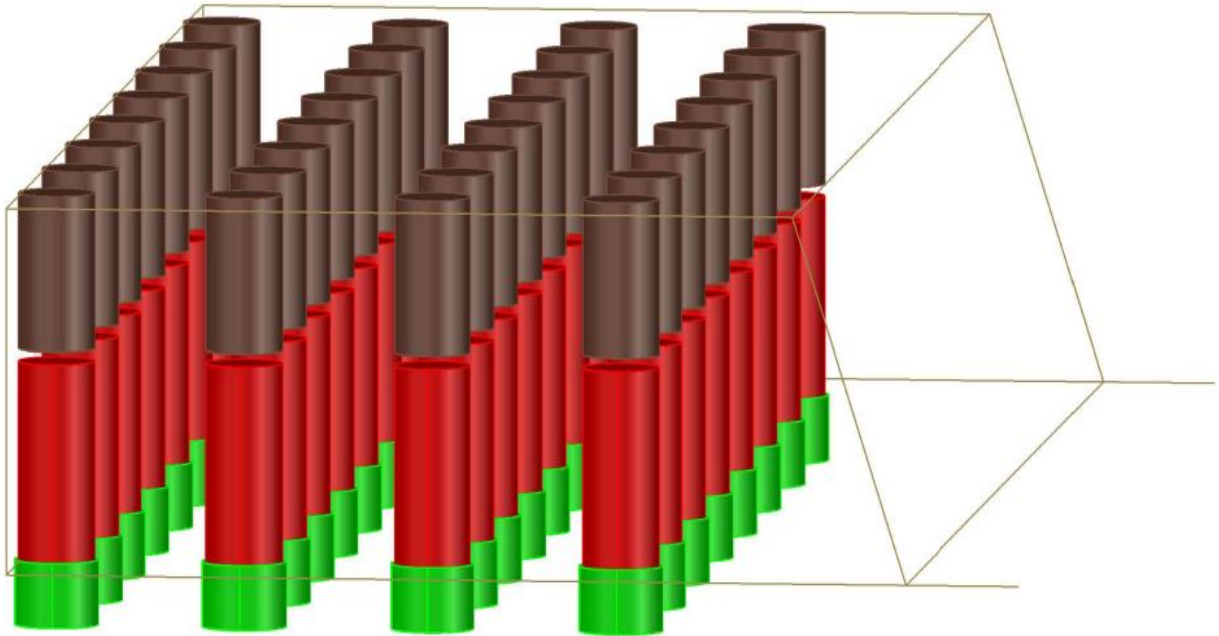
$$T_v = D_i \times V_t \quad (19)$$

$$T_v = 2,65 \times 7872$$

$$T_v = 20860.8 \text{ TM}$$

Figura 7

Distribución de taladros



Nota. Elaboración propia realizada en AutoCAD.



Diseño de Malla a través del software JK Simblast

El software JK Simblast es un conjunto de herramientas que nos permite el diseño, edición, simulación, evaluación y administración de voladuras tanto en minería superficial como en minería subterránea.

El módulo JK Simblast 2D Bench es una herramienta integrada que nos permite analizar el seguimiento de salida en diferentes trabajos de voladura programados en el área de strip blasting y recolectar esta información en campo. A su vez, este software describe cada paso en detalle cómo se hará a continuación.

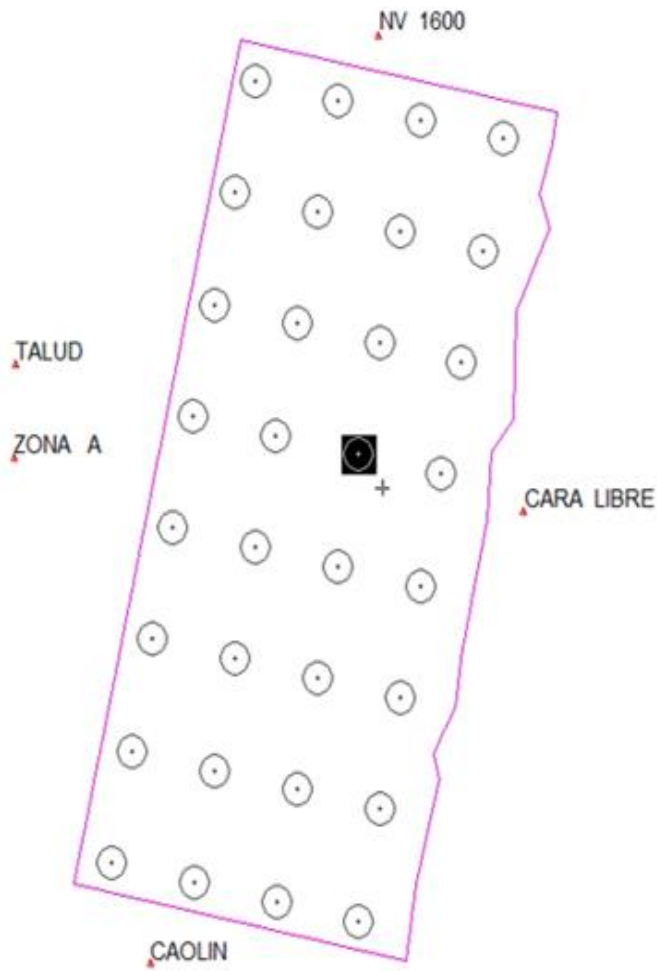
a. Diseño de la malla de perforación

En este panel se procede a realizar la distribución de taladros en base a las medidas tomadas en el campo, a continuación, se muestra la siguiente imagen realizada en el software, la cual describe los parámetros de perforación en la zona A de la mina San Benito.



Figura 8

Malla de perforación



HOLE LABEL: 3/5	
Row Number :	3
Hole in Row :	5
Bench Height	8.20 m
Sub Drill	1.50 m
Diameter	127.000 mm
Total Length	9.70 m
Stand Off Length	-1.50 m
Dip	90.00 °
Bearing	0.00 °
Collar Location	
East	-12.594 m
North	10.549 m
Level	1.600.000 m
Toe Location	
East	-12.594 m
North	10.549 m
Level	1.590.300 m
Burden x Spacing	5.0m x 6.0m
(Not detonated)	
(Is Unmarked)	
(No Charge)	
(No Steaming)	
(No Downhole Delays)	
(No Surface Delays)	

Nota. Elaboración propia diseñada en el software JK SIMBLAST.

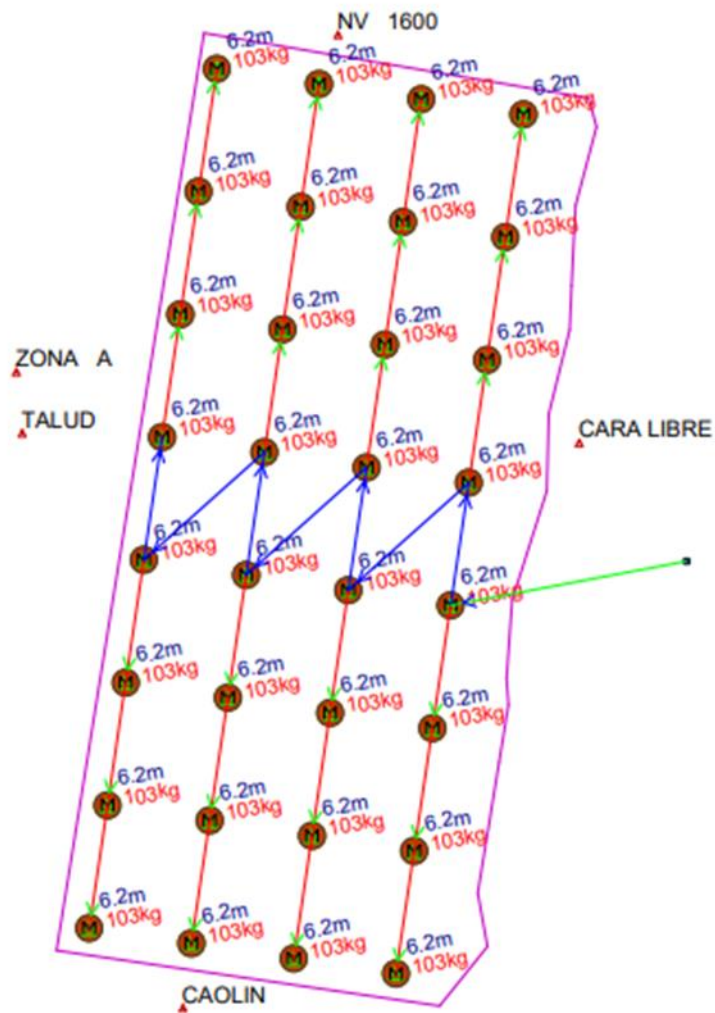


b. Carguío de taladros

En la siguiente imagen se detalla el tipo de explosivo que se va a utilizar para la respectiva carga de taladros.

Figura 9

Carguío de taladro



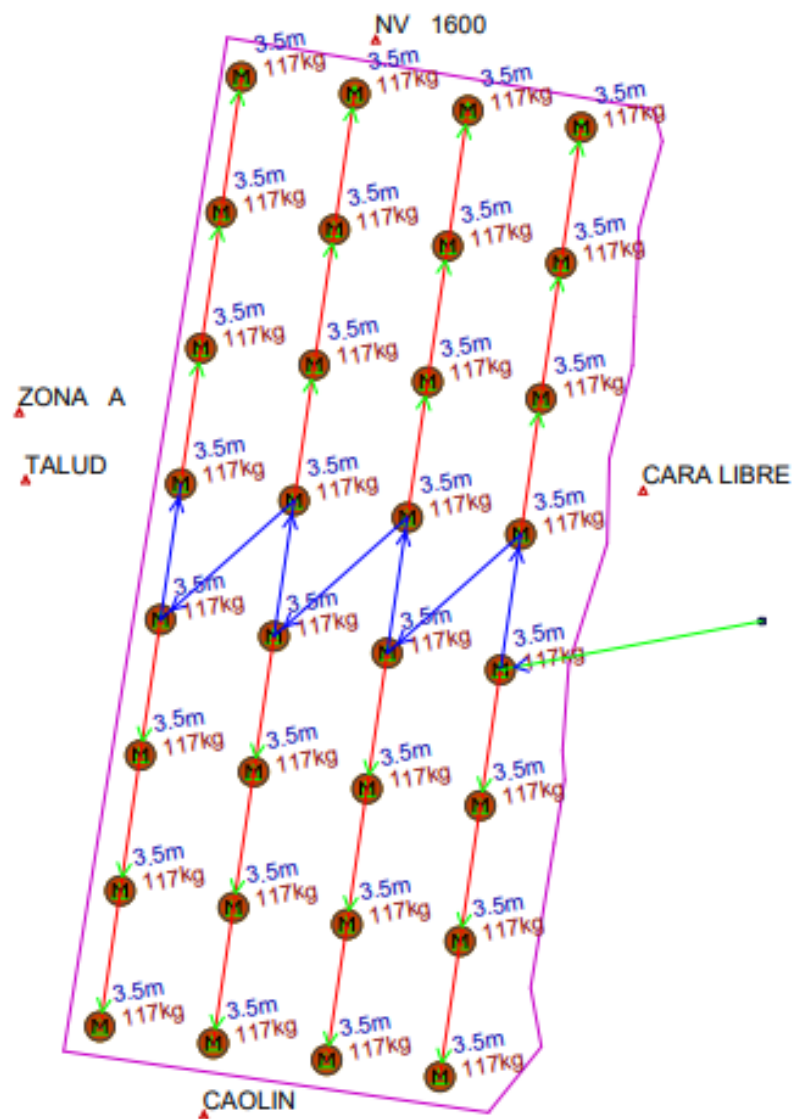
Nota. Elaboración propia elaborada en el software minero JK SIMBLAST.

c. Carguío del taco

En el siguiente segmento se procede a realizar la carga con roca, teniendo en cuenta que el material es caolinita, la cual ofrece una mayor compensación al momento de detonar los taladros.

Figura 10

Carguío del taco



Nota. Elaboración propia en el software JK SIMBLAST.

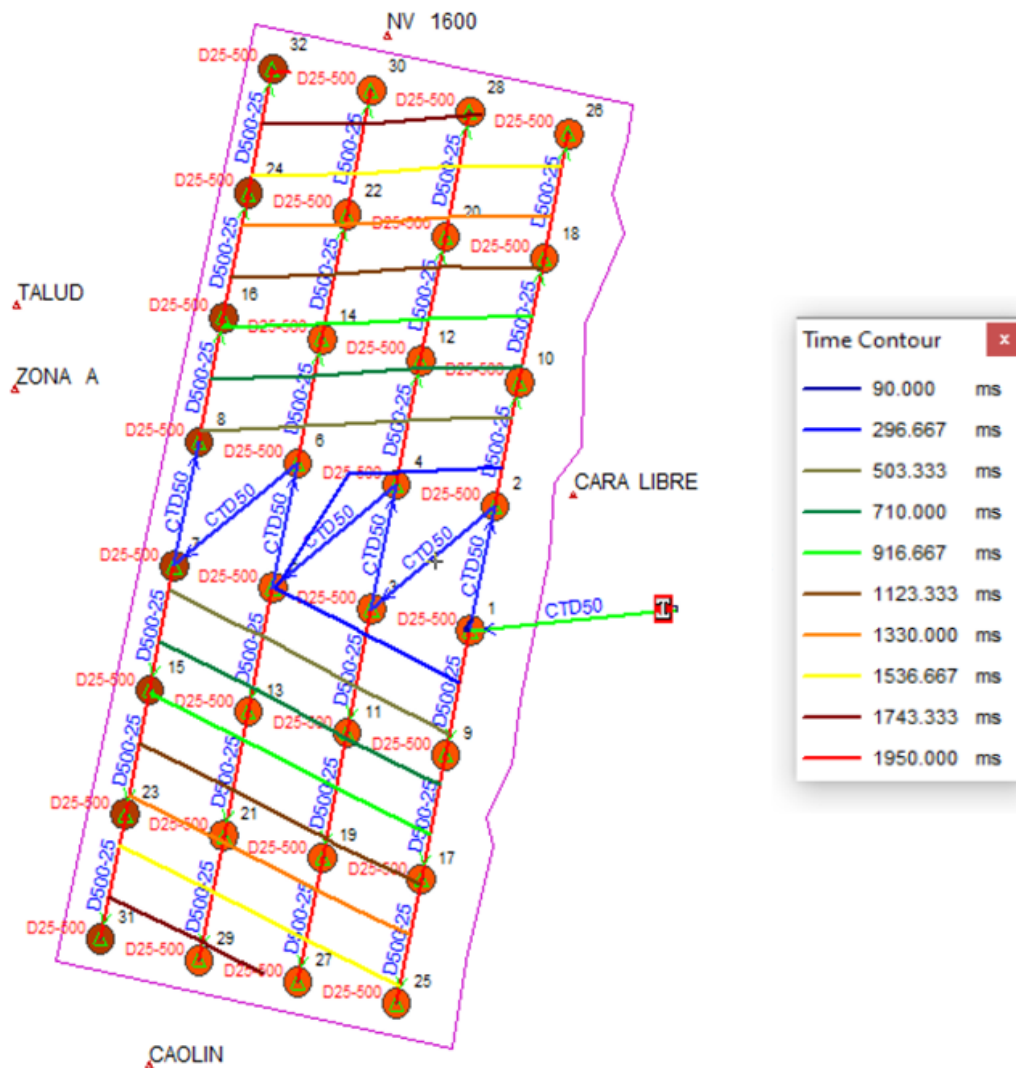
d. Secuencia de detonación y control de tiempos

Para este diseño de voladura se utiliza un fanel dual de 25 - 500 ms como retardo en el fondo y un D500 - 25 ms como retardo en superficie, iniciando la voladura con un fanel CTD de 50 ms.

Como se observa en la figura, la secuencia asignada para cada taladro va a generar un corte en “V”, verificando con colores diferentes los tiempos de detonación entre cada taladro.

Figura 11

Voladura de corte en “V”



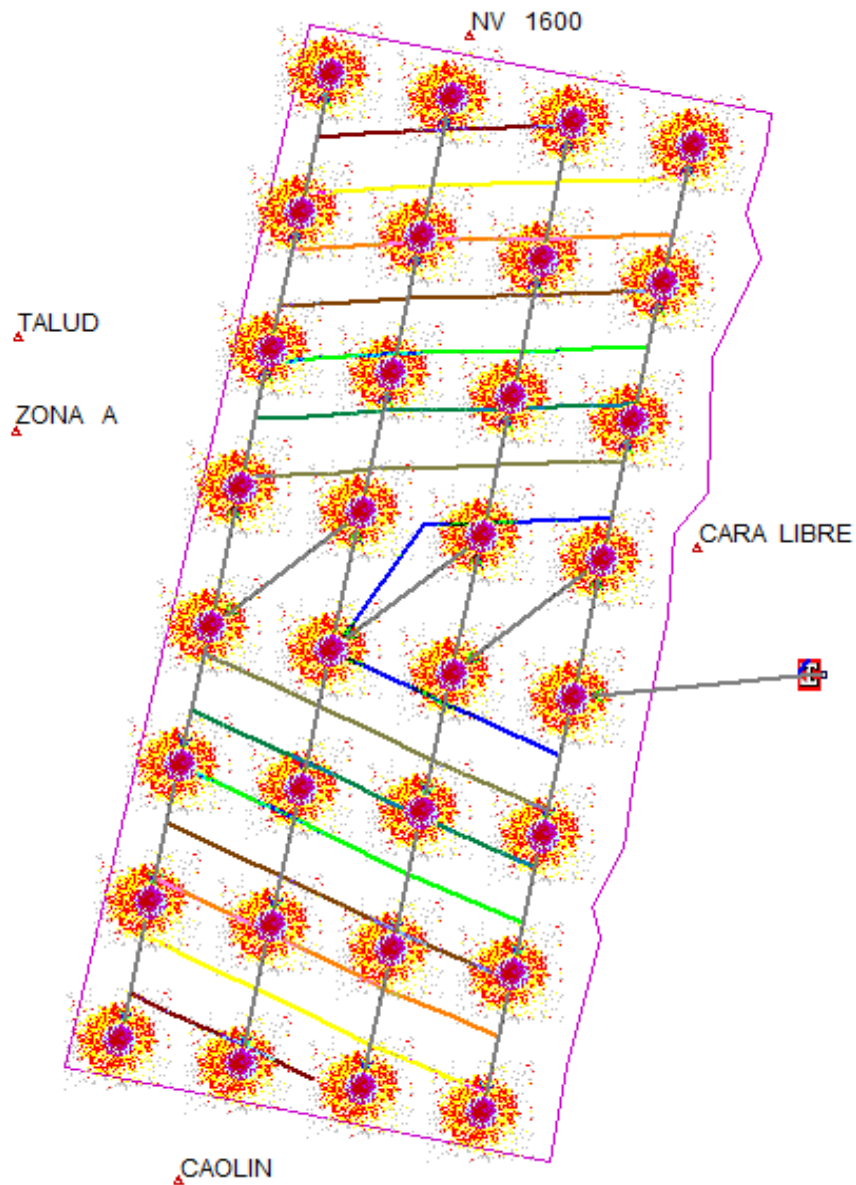
Nota. Elaboración propia en el software JK SIMBLAST

e) Voladura

Como último segmento se procede a realizar el respectivo disparo verificando que cada taladro estalle en la iniciación de secuencial.

Figura 12

Detonación de la malla de perforación



Nota. Elaboración propia efectuada en JK SIMBLAST.

Cálculo de costos operacionales

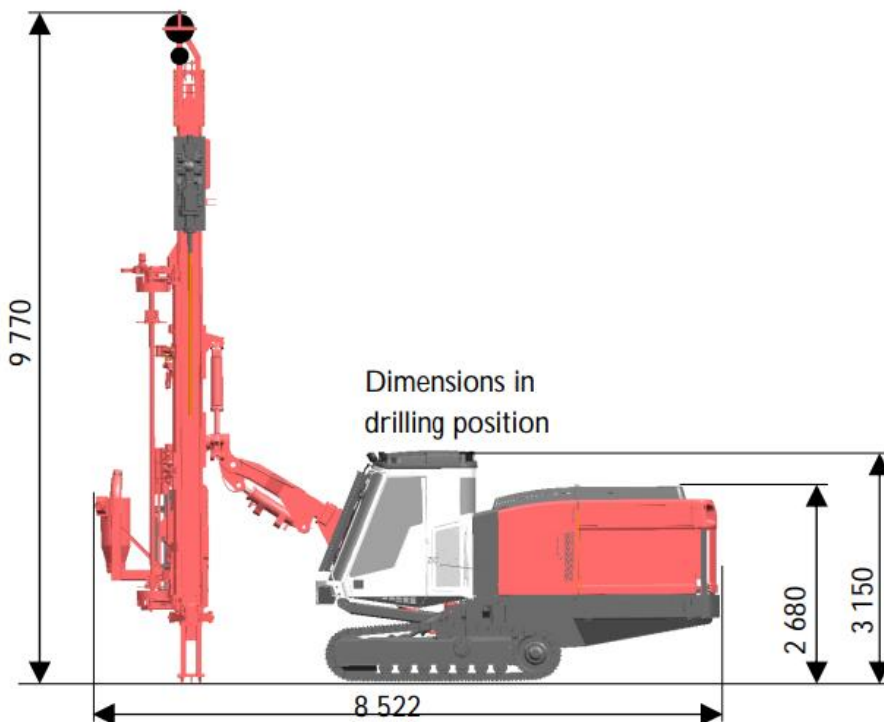
En este segmento se detalla y denota cada punto específico de todos los costos fundamentales que engloba la estructura perforación y voladura, teniendo en cuenta que las siguientes menciones solo datan costos de operaciones directas, mas no costos secundarios, ya que estos, estarán a cargo de las propias canteras en San Benito tales como; mano de obra, servicios directos y servicios auxiliares, etc.

a) Cálculos y costos de perforación

Debido a la alta gama y variedad de maquinaria en perforación, se toma en cuenta la perforadora Sandvik DP 1100i montada sobre orugas, ya que esta es ideal por su alto rendimiento y manejo sobre el terreno.

Figura 13

Perforadora Sandvik DP 1100i



Nota. 2009 Sanvik Mining Construction.



Tabla 8

Cálculos y costos de perforación

Costo de alquiler de perforadora Sandvik DP1100i	
60 minutos de perforación	\$ 200.00
30 minutos de perforación	\$ 100.00
Diámetro de perforación de taladro (mm)	127
Capacidad total de perforación (m)	10
Tiempo de perforación de taladros	
Longitud de taladro total (m)	9.7
Total de taladros por perforar	32
1 minuto de perforación (m)	4.6
Tiempo perforado por taladro (min)	2.1
Tiempo total de taladros perforados (min)	67.5
Tiempo requerido de alquiler 90 minutos	\$ 300.00
Costos de perforación de taladros	
Costo por metro perforado	\$ 12.00
Costo por taladro perforado	\$ 116.40
Costo total de taladros perforados (\$)	\$ 3,724.80
Costos de carguío de taladros con Anfo Pesado	
Longitud de carga del taladro (m)	6.2
Costo de anfo pesado por kilogramo	\$ 1.00
Taladro requerido de anfo pesado (kg)	103
Costo por taladro cargado con anfo pesado	\$ 103.00
Costo total de taladros cargados	\$ 3,296.00
Costos de retardos de fondo	
Costo de Fanel Dual 25-500 ms por unidad	\$ 1.50
Costo total de retardos de fondo (\$)	\$ 48.00
Costos de retardos de superficie	
Costo de fanel Dual de 500-25 ms por unidad	\$ 1.50
Costo de fanel CTD 50 ms por unidad	\$ 1.50
Taladros utilizados con Fanel Dual 500-25 ms	24
Taladros utilizados con Fanel CTD 50 ms	8
Costo de Fanel Dual 500-25 ms	\$ 36.00
Costo de Fanel CTD 50 ms	\$ 12.00
Costo total de Faneles utilizados (\$)	\$ 48.00

Nota. Elaboración realizada en Microsoft Excel.



b) Costo total del diseño volado

A través de los cálculos y costos de perforación, se obtiene el costo total, resaltando los resultados generales para concluir con un presupuesto de estimación acertado.

Tabla 9

Costo total en perforación y voladura

Costo total del diseño pv	
Tiempo requerido de alquiler 90 minutos	\$ 300.00
Costo total de taladros perforados	\$ 3,724.80
Costo total de taladros cargados	\$ 3,296.00
Costo total de retardos de fondo	\$ 48.00
Costo total de retardos de superficie	\$ 48.00
costo total	\$ 7,416.80

Nota. Elaboración propia de autores.

c) Costos del caolín en el mercado actual

Teniendo en cuenta que el caolín es un mineral que demanda demasiada producción, ya que es utilizado en su mayoría por las grandes industrias del cemento para el sector civil, es fundamental su explotación a grandes masas. Es por ello que la venta de este mineral es tan rentable para las canteras del distrito San Benito.

Tabla 10

Costos del caolín en el mercado actual

Costo de caolín en el mercado actual	
Costo de caolín por tonelada	\$ 3.8000
Tonelaje volado (TV)	20860.8
costo total	\$ 79,271.04

Nota. Elaboración propia de autores.



4.1.3. Comparación del desarrollo entre los métodos de aplicación.

Los diferentes puntos de comparación se realizan haciendo referencias entre los métodos ya descritos, los cuales consisten en mostrar la eficiencia de cada uno dependiendo de sus ventajas y similitudes, sin embargo, esto tiene un margen de error entre ambos métodos que oscilan entre 0.5 % a 1 %.

a. Modelo matemático de Richard Ash

Al aplicar el cálculo matemático de Ash, se obtiene parámetros fundamentales, los cuales son muy referentes para el desarrollo de la voladura debido que, sin estos, no se podría iniciar la malla de perforación, dentro de los principales datos tenemos; altura de banco, burden, espaciamiento, taco, sobreperforado, etc. Obteniendo como resultados similares los siguientes cálculos (Fig. 14).

Tabla 11

Cálculos fundamentales de la teoría de Ash.

Volumen total de voladura de banco (Vt)	7872	m ³
Tonelaje volado (Tv)	20860.8	ton
Factor de potencia (FP)	0.418	kg/m ³
	0.158	kg/m ³

Nota. Elaboración propia.



b. Software JK Simblast

Al obtener los principales parámetros en el modelo matemático de Ash, se puede dar inicio a la creación de la malla de perforación, una vez insertado estos datos al software, obtenemos resultados similares al desarrollo del cálculo matemático tales como:

Figura 14

Resultados fundamentales del software

Design Factors	
Using marked holes and:	
Nearest Polygon	Blast Parameters
Av. Burden	5.00 m
Av. Spacing	6.00 m
All Hole Lengths	262.4 m
Volume	7,872.0 m ³
Rock SG	2.650
Tonnage	20,860.8 tonnes
Marked Holes	32
Charge Mass	3,292.4 kg
Charge Energy	12,412.3 MJ
POWDER FACTOR	0.418 kg/m³ 0.158 kg/t
ENERGY FACTOR	1.577 MJ/m³ 0.595 MJ/t

Copy To Clipboard Store in Database... Close

Nota. Elaboración propia realizada en el software JK SIMBLAST.



4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

La estructuración de la malla de perforación utilizando el método de Richard Ash, acelera la extracción de caolín en el distrito San Benito, mediante cálculos matemáticos se obtiene un porcentaje mayor de efectividad de material fragmentado, probando así la eficiencia de ambos métodos ya sea por el modelo matemático o a través del software.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los análisis observados en las canteras de caolín en el distrito San Benito no cubrían con la demanda de producción de mineral requerido por diversas empresas, las cuales están dedicadas al sector civil, teniendo como principal rubro la fabricación de Cementos. El tiempo que se estima para desarrollar una planificación de perforación y voladura sería de 8 meses, resultados que al ser comparados con la investigación de Figueroa (2017) llamada “Perforación y voladura aplicando la teoría de Richard Ash, para la mejora de la fragmentación en la compañía minería Antamina S.A” donde indica implementar un diseño de perforación y obtener un resultado favorable de fragmentación en su voladura. Llegando a la conclusión que a través de este estudio pre experimental, desarrollaremos por medio de cálculos y fórmulas matemáticas un diseño de perforación el cual será esencial para acelerar la producción de mineral en las canteras de la zona A del distrito San Benito, teniendo como resultado de análisis una voladura óptima.

Volumen de la voladura del banco (V_t): 7872 m³

Tonelaje Volado (T_v): 20860.8 ton

El desarrollo del segundo objetivo se basó en demostrar a través del software JK Simblast la simulación del diseño elaborado, el cual mediante los parámetros obtenidos de los cálculos y fórmulas matemáticas nos favorecieron al realizar el diseño de malla de perforación el cual se adecuaba perfectamente al terreno. Como se realizó con la investigación de Soto y Tarazona (2016) llamada “Implementación de una aplicación de acarreo en minería



superficial” donde indica en desarrollar una herramienta de simulación auxiliar para el control de tiempo en los ciclos de tránsito, permitiéndole obtener periodos de carga con resultados cuantificables. Concluyendo que, durante la operación, se determinó un factor de corrección del 90 %. El tiempo de ciclo estimado en el emulador FPM usando un factor de corrección es 0 % y en el emulador FPC es 11 %. Se dice que, capacitando de manera periódica a los operadores de equipos y voladura eficiente, aseguran altos factores de llenado, tiempos de carga más rápidos y transporte fluido ahorrando un 20 %.

En el último objetivo se determinó los costos de operación total de acuerdo al plan estructural de perforación y voladura, mediante el cual se calculó que la estructura de la malla estima un costo aproximado de \$ 7416.80, esto incluye alquiler de equipos de maquinaria y accesorios de voladura, sin embargo, esta cotización no considera el costo de personal trabajador, entre otros. Datos que al ser comparados con la investigación de Correa y Martínez (2017) Diseño del sistema de perforación y voladura en los bancos D, E y F en la mina de caliza El Tesoro. Llegando así a la conclusión que el proyecto propuesto es rentable al reducir significativamente los costos de extracción mientras mantiene parámetros que cumplen con las regulaciones ambientales, la cual permite a la empresa reducir presupuestos de perforación y voladura, extracción y costo total de operación.



CAPÍTULO V CONCLUSIONES

1. Con la implementación de la perforación y voladura mediante el método de Richard Ash se logrará acelerar la extracción de caolín, lo que a su vez aumentará la producción de mineral removido, obteniendo así la capacidad de ofrecer mayor cantidad de material extraído a diversas empresas Cementeras.
2. Su rendimiento será fortuito gracias al avance de disparo, determinando el gran movimiento de tierra que se realizará después de una voladura, pues esto será comprobado a través del software JK Simblast, cuyo propósito es generar un resultado 100 % acertado en cuanto a la voladura realizada.
3. Del análisis efectuado en el distrito San Benito, se determinó que la causa raíz del proceso actual es muy tardío y poco rentable en cuanto a la determinación de procesos de extracción, ya que el método de desgarrar para arrancar el mineral es solo a través de maquinarias de excavación. Por lo que optamos en diseñar un modelo de malla el cual se adecue perfectamente al terreno de campo estudiado, facilitando una gran producción y generando una mayor ganancia en cuanto a costos de inversión.



SUGERENCIAS

1. Para una adecuada estandarización en operaciones de perforación y voladura, se debe realizar un diagnóstico detallado de los procesos y factores que los afectan directamente (mano de obra, materiales, herramientas, máquinas, servicios), medio ambiente y seguridad); Esta es la única forma de garantizar resultados consistentes con los estándares de trabajo establecidos.
2. Se recomienda plantear un esquema de jornadas laborales en conjunto con los métodos proporcionados en las canteras del distrito San Benito, con la finalidad de sintetizar a mayor velocidad dicho proyecto.
3. Capacitar a los empleados en operaciones de perforación y voladura y resumir los flujos de trabajo desarrollados como parte del proyecto, para que los empleados puedan adaptarse de manera segura al manejo y uso de explosivos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Tesis de grado:

- Aguilar, C. (2015). *Incremento de la Productividad en el Carguío y Acarreo en Frentes que presentan altos contenidos de Arcillas al utilizar un Diseño de Lastre adecuado, Minería Yanacocha, Perú - 2015* (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Barcenes, V. (2014). *Implementación de un Plan Seguridad en la Perforación y Voladura del Tajo Abierto de Minera Antamina* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.
- Blanco, M. (2012). *Diseño de malla de perforación y voladura de frentes para optimizar la voladura en la mina San Genaro de la Cía. Minera Castrovirreyna S.A.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Chura, W. (2016). *Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosó y su Aplicación en el Diseño de Sostenimiento en Labores de Desarrollo de la Unidad Económica Administrativa Ana María - La Rinconada* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Correa, P. & Díaz, A. (2017). *Diseño del sistema de perforación y voladura en los bancos D, E y F en la mina de caliza el Tesoro ubicada en la vereda de la Calera del municipio de Nobsa - Boyacá* (tesis de pregrado). Universidad Pedagógica Tecnológica de Colombia, Colombia.
- Delgado, M. (2014). *Estrategias en el Diseño de Perforación y Voladura para Estructuras Aledañas Controlando Vibraciones y Rocas al Aire en Minas a Tajo Abierto* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.



- Figueroa, J. (2017). *Diseño de Perforación y Voladura Aplicando la Teoría de Richard Ash, para la Mejora de la Fragmentación en la Compañía Minera Antamina S.A.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.
- García, E. (2019). *Evaluación geomecánica en el diseño de sostenimiento subterráneo en la unidad económica administrativa Huachocolpa Uno - Compañía Minera Caudalosa S.A.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú.
- Mamani, P. (2019). *Optimización de la Fragmentación y Diseño de Malla por Alteración en Perforación y Voladura de U.E.A. Valeria - Anabi S.A.C.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Nader, N. (2018). *Implementación de Parámetros de Perforación y Voladura en el Nivel 70, Frente 1 de la Cantera Planta Tolú Viejo de la Empresa Cementos Argos S.A.* (tesis de pregrado). Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia.
- Quiroga, M. (2013). *Análisis de la Perforación y Tronadura en el Soldado* (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Vilca, C. & Yábar, N. (2016). *Diseño, Validación e Implementación de una Aplicación de Acarreo en Minería Superficial* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Direcciones electrónicas:

- CAMIPER (2019). *Perforación y Voladura de Rocas en Minería Superficial*. Recuperado de <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/voladura-controlada-en-mina-superficial-conoce-metodos/>
- EXSA (2009). *Manual práctico de voladura*. Recuperado de <https://exsa.net/wp-content/publicacion/manual-de-voladura.pdf>



- FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. (2019). *Características Técnicas de anfo pesado*. Recuperado de <http://www.famesa.com.pe/productos/agentes-de-voladura/anfo-pesado/>
- FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. (2019). *Manual de perforación y voladura*. Recuperado de <https://www.mineriadelibrosycursos.com/2020/01/manual-de-perforacion-y-voladura-2019.html>
- ISEM (2014). *Parámetros en la voladura de rocas*. Instituto de Seguridad Minera. Recuperado de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/parametros-en-la-voladura-de-rocas/>
- Martinez, J. (febrero 2009). *Limitación de carga operante para voladuras en canteras de roca ornamental*. Researchgate. Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/277126825_Limitacion_de_carga_operante_para_voladuras_en_canteras_de_roca_ornamental_aplicacion_a_una_cantera_de_Piedra_Bateig
- Ortiz, J. (2008). *Apuntes de Curso de Explotación de Minas*. Recuperado de https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2015/1/ME5703/1/foro/r/Apuntes_de_Curso_de_Explotacion_de_Minas_-_Julian_Ortiz.pdf?fbclid=IwAR22V-w8Oeo3M2QGkc4b0K99aVPk39sriVOW-Uyf8R4GVa0RFe0J64Frj-o
- Osso. (2003). *Conceptos básicos sobre voladuras*. Recuperado de <http://www.osso.org.co/docu/tesis/2003/vibracion/B.pdf>
- Oviedo. (octubre 2007). *Técnicas de voladuras para control de dilución en minería metálica*. blast-consult. XII Congreso de energía y recursos minerales. Recuperado de <http://www.blast-consult.com/documentos/control%20dilucion.pdf>



Peralta, G. (1987). *Características y control de las vibraciones producidas por acción de las voladuras en minas a cielo abierto*. Recuperado de http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_sogamoso/pregrado/minas/documentos/CARATERISTICAS_Y_CONTROL_DE_LAS_VIBRACIONES_PRODUCIDAS_POR_ACCION_DE_LAS_VOLADURAS_EN_MINAS_A_CIELO_ABIERTO.do.pdf



ANEXOS

Anexo N° 1: Matriz de Consistencia

TÍTULO	FORMULACIÓN DE PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
“Diseño de perforación y voladura mediante el método de Richard Ash para acelerar la extracción de caolín en el distrito San Benito”	<p>➤ General</p> <p>¿En qué medida influye el diseño de perforación y voladura mediante el método de Richard Ash para acelerar extracción de caolín en el distrito San Benito?</p> <p>➤ Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿En qué medida se podrá calcular los parámetros de perforación y voladura mediante el 	<p>➤ General</p> <p>El diseño de perforación y voladura mediante el método de Richard Ash, acelera la extracción de caolín en el distrito San Benito.</p> <p>➤ Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • El método de Richard Ash permite calcular los parámetros de perforación y voladura. • A través de software (JK Simblast) de simulación se 	<p>➤ General</p> <p>Acelerar la extracción de caolín en el distrito San Benito mediante el método de Richard Ash en el diseño de perforación y voladura.</p> <p>➤ Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcular mediante el método de Richard Ash los parámetros de perforación y voladura. 	<p>➤ Independiente</p> <p>Diseño de perforación y voladura.</p> <p>➤ Dependiente</p> <p>Acelerar la extracción de caolín.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiempo ✓ Volumen del terreno ✓ Tipo de Roca (Clasificación geomecánica) ✓ Cálculos Teóricos 	<p>Tipo: Aplicada</p> <p>Método: Científico</p> <p>Diseño: Cuantitativa Pre Experimental</p> <p>Población: Está conformada por 4 concesiones mineras no metálicas que extraen caolín en la Región Cajamarca, estas son: Cía. Minera Camelias, La Providencia, Lavasil, Tembladera.</p> <p>Muestra: La muestra es no probabilística, está compuesta por los primeros taludes de la excavación de caolín en la zona A del distrito San Benito, región de</p>



	<p>método de Richard Ash?</p> <ul style="list-style-type: none">• ¿De qué manera la aplicación de software (Visual Basic) de simulación contribuye a demostrar que el método de Richard Ash es el apropiado para el diseño de perforación y voladura?• ¿Cómo se podrá calcular el costo de operación total de acuerdo al diseño de perforación y voladura?	<p>demuestra en tiempo real el diseño de perforación y voladura.</p> <ul style="list-style-type: none">• Calculando los costos de operación total del diseño de perforación y voladura, nos permite saber los costos de inversión aproximados.	<ul style="list-style-type: none">• Demostrar a través de software (JK Simblast) la simulación en tiempo real del diseño de perforación y voladura.• Calcular el costo de operación total de acuerdo al diseño de perforación y voladura.		<p>Cajamarca. Teniendo los volúmenes de toda la zona a explotar en el año 2018, se determina que el cuerpo mineralizado de San Benito tiene en reservas probadas 1832348.499 m³ de con un peso específico de 2.7 TM/m³ tenemos 4947340.947 TM de reservas.</p> <p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</p> <ul style="list-style-type: none">• Exploración• Identificación del macizo rocoso.• Técnica del rompimiento del macizo rocoso.• Ficha de muestreo
--	---	--	--	--	--

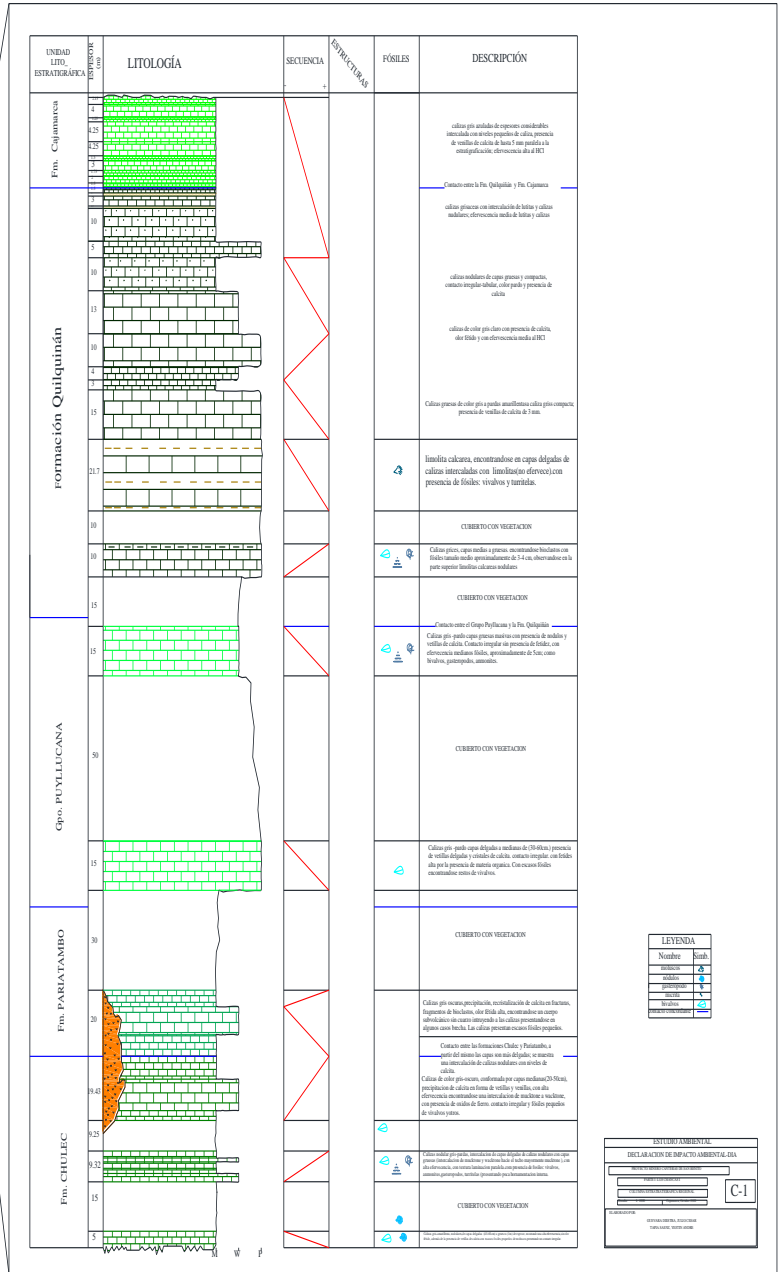


						<ul style="list-style-type: none">• Análisis químico de la caliza.• Levantamiento topográfico.• Ingemmet – Geocatmin• Estación total• GPS• Instrumentos volumétricos. <p>Método de análisis de investigación: Según el enfoque: Cuantitativo Pre test – Post test, se busca evaluar el efecto del cambio al aplicar el método de Richard ASH en el diseño de perforación y voladura, comparado la situación final con la inicial.</p>
--	--	--	--	--	--	---



Anexo N° 2: Ficha Técnica

ERA	SISTEMA	SERIE	PISO	FORMACION
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	DANIANO	Fm. Celéndi Fm. Capatzen Fm. Colón Fm. Tzucuma Fm. Magarum Gpo. Puffucana
			VAESTRICHIANO	
		INFERIOR	ALVIANO	
		OPTIANO		
	JURASICO	HALO	TITONIANO	Gpo. PUYLLUCANA
			KINMERIDGIANO	
		DEGGER	GALOVIANO	
			BATONIANO	
	TRIASICO	SUPERIOR	TOARCIANO	Fm. PARIATAMBO
			PLIENSBACHIANO	
		MEDIO	SINENURIANO	
			HETTANGIANO	
INFERIOR	RETIANO	Fm. CHULEC		
	NORIANO			



LEYENDA

Nombre	Forma
Color	Textura
Forma	Textura
Forma	Textura
Forma	Textura

ESTUDIO AMBIENTAL
DECLARACION DE IMPACTO AMBIENTAL DIA

ESTUDIO AMBIENTAL
DECLARACION DE IMPACTO AMBIENTAL DIA

C-1

Anexo N° 3

Anexo 3.1. *Espaciamiento de taladros*



Se realizó la medición de taladros en el terreno de campo.

Anexo 3.2. *Diámetro del taladro*



Se procedió a marcar en el talud de banco la circunferencia del orificio.



Anexo 3.3. *Altura de banco*



Vista frontal de la altura de un banco

Anexo 3.4. *Vista previa de la Zona A*



Exploración del lugar de estudio en las canteras de San Benito



Anexo 3.5. *Vista preliminar de las canteras de San Benito*



Enfoque total del terreno In Situ

Anexo 3.6. *Distribución de taladros*



Referencia de la malla realizada en el talud de banco



Anexo N° 4: Prácticas Pre Profesionales



R.U.C. 20440222651

Guadalupe Victoria N° 678 Telf: 044-203705 Cel.: 948330080
La Esperanza - Trujillo - La Libertad

Chilcas Bajo - Parcoy - Anexo Llacuabamba
Prov. Pataz - La Libertad

CERTIFICADO DE TRABAJO

El Gerente de la EMPRESA ESPECIALIZADA CONTRATA MINERA CANCER EIRL, con sede de Operaciones en Unidad Minera CHILCAS BAJO, MARSA, Sr. Félix Edilberto Torrealva Rodríguez, que suscribe:

CERTIFICA

Que el Trabajador Sr. GUEVARA DIESTRA JULIO CESAR, identificado con DNI N° 73317058 ha laborado en esta Empresa Especializada, la misma que brinda servicios ESPECIALIZADOS Minero Metalúrgicos a MINERA AURIFERA RETAMAS S.A. – MARSA, desempeñándose en el cargo de AYUDANTE 2 MINA DE PERFORISTA desde el 22 de julio 2019 hasta el 30 de junio del 2020.

El mencionado Trabajador durante su permanencia en esta Empresa ha demostrado responsabilidad honradez y eficiencia en los trabajos encomendados, haciéndose acreedor del aprecio, respeto y consideración de todos los Trabajadores de esta Unidad Minera.

Se expide el presente a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 23 de setiembre del 2020

CONTRATA MINERA CANCER E.I.R.L.
esall
César Alberto Montoya Infante
CONTADOR



R.U.C. 20440222651

Guadalupe Victoria N° 678 - Cel: 94 9905103 - La Esperanza
Telf: 203705 - Cel: 948330080 - Trujillo - La Libertad

R-2 - Ancso Uacuabamba
Prov. Pataz - La Libertad

CERTIFICADO DE TRABAJO

El Gerente de la EMPRESA ESPECIALIZADA CONTRATA MINERA CANCER EIRL, con sede de Operaciones en Unidad Minera CHILCAS BAJO, MARSA, Sr. Félix Edilberto Torrealva Rodríguez, que suscribe:

CERTIFICA

Que el Trabajador Sr. TAPIA SAENZ YESTIN ANDRE, identificado con DNI N° 76469213 ha laborado en esta Empresa Especializada, la misma que brinda servicios ESPECIALIZADOS Minero Metalúrgicos a MINERA AURIFERA RETAMAS S.A. - MARSA, desempeñándose en el cargo de PEON MINA desde el 01 de enero 2018 hasta el 01 de abril del 2018.

El mencionado Trabajador durante su permanencia en esta Empresa ha demostrado responsabilidad honradez y eficiencia en los trabajos encomendados, haciéndose acreedor del aprecio, respeto y consideración de todos los Trabajadores de esta Unidad Minera.

Se expide el presente a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 16 de abril del 2018

CONTRATA MINERA CANCER EIRL
Félix Edilberto Torrealva Rodríguez
TITULAR - GERENTE



Anexo N° 5: Prácticas Profesionales



Venta de Servicios Mineros de Explotación.



CERTIFICADO DE TRABAJO

El que suscribe, Cpc. Geovanna Huilcas Aparco, Administradora de Personal de la Empresa J&S CONTRATISTAS GENERALES S.A.C. Certifica:

Que el Sr:
GUEVARA DIESTRA JULIO CESAR con DNI 73317058 ha trabajado con nuestra empresa con el:

CARGO	AYUDANTE MINA B
F.INGRESO	14/02/2021
F. CESE	1/09/2021
UNIDAD	MARAÑON-PARAISO
CLIENTE	COMPAÑÍA MINERA PODEROSA S.A

Se extiende dicho certificado para sus fines que crea conveniente.

Trujillo martes, 7 de Setiembre de 2021

J&S CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Geovanna Huilcas Aparco
ADMINISTRADORA DE PERSONAL
CPC 08 3778



Venta de Servicios Minera de Exploración

CERTIFICADO DE TRABAJO

El que suscribe, Cpc. Geovanna Huillcas Aparco, Administradora de Personal de la Empresa J&S CONTRATISTAS GENERALES S.A.C. Certifica:

Que el Sr:
TAPIA SAENZ YESTIN ANDRE con DNI 76469213 ha trabajado con nuestra empresa con el:

CARGO	AYUDANTE MINA B
F.INGRESO	10/02/2021
F. CESE	1/09/2021
UNIDAD	MARAÑON-PARAISO
CLIENTE	COMPAÑIA MINERA PODEROSA S.A

Se extiende dicho certificado para sus fines que crea conveniente.

Trujillo martes, 31 de Agosto de 2021

J&S CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Geovanna Huillcas Aparco
ADMINISTRADORA DE PERSONAL
C.P.C. 05.3778



DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA MEDIANTE EL MÉTODO DE RICHARD ASH PARA ACELERAR LA EXTRACCIÓN DE CAOLÍN EN EL DISTRITO SAN BENITO

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	18%	0%	11%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.uct.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%



9	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	www.famesa.com.pe Fuente de Internet	<1 %
11	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to Universidad Tecnológica del Perú Trabajo del estudiante	<1 %
19	www.repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %



20	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
22	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to unap Trabajo del estudiante	<1 %
24	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
25	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
27	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.upp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Exclude assignment
template

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

Excluir coincidencias

< 10 words