UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

DISEÑO DE PARÁMETROS DE VOLADURA EN ROCAS MINERALIZADAS CON ALTERACIÓN HIDROTERMAL TIPO FÍLICA POTÁSICA EN YACIMIENTOS TIPO PÓRFIDO DE COBRE MINA CUAJONE - 2018

TESIS

PRESENTADA POR:

BACH. FREDY WINSTON CURO QUISPE

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ
2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

FOLIO N° .....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Según Resolución. RESOLUCION DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 1195-2019-UNAM

El Jurado Dictaminador ha calificado la defensa de la tesis:

TITULADA:

DISEÑO DE PARÁMETROS DE VOLADURA EN ROCAS MINERALIZADAS CON ALTERACIÓN HIDROTERMAL TIPO FÍLICA PORFÍDICA EN YACIMIENTOS TIPO PÓRFIDO DE COBRE MINA QUELLAVECO - 2018

Asesor: ING. AGAPITO FLORES JUSTO

Asesor Externo: .....

Tesista: BACH. FREDY WINSTON CURO QUISPE

Dictamina como APROBADO por UNANIMIDAD

La defensa del tema de investigación con la nota: TRECE (13)

Por lo que SI opta el Grado de Ingeniero de Minas.

Siendo las 12:00 horas, del 16 de DICIEMBRE del año 2019

se procede a firmar la presente.

Presidente del Jurado
MGR. JORGE LUIS FLORES SOLIS

Primer Miembro
Dr. MARCO J. LUIS QUISPE PÉREZ

Segundo Miembro
Ing. MARTIN M. ARAUJO GONZA.

Tesista
Bach. Fredy Winston Curo Quispe

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado salud y sabiduría para alcanzar mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, hermanos y a las personas que sumaron en mi formación y desarrollo como Profesional, quienes me acompañaron a lo largo de este camino, lleno de retos y tan gratificante a la vez.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por brindarme todos los conocimientos para realizar mis estudios.

Al Ing, Agapito Flores Justo por el apoyo brindado en la dirección de la presente investigación, por su amistad y compañerismo.

Al ing. Dante Salazar Reyes, por su incondicional apoyo en el desarrollo del proyecto además de asumir el papel como mentor para ser un gran profesional en minería.

A mis compañeros del área de perforación, disparos y servicios auxiliares de la unidad Cuajone, por su excelente ética profesional, valiosas aportaciones críticas en el desarrollo del presente documento, y sobre todo por su apreciable y valiosa amistad.

A los catedráticos de la Escuela de la Escuela de Ingeniería de minas, por sus orientaciones, sugerencias atinadas y contribuir en mi formación académica.

.

RESUMEN

El presente trabajo *denominado "Diseño De Parámetros De Voladura En Rocas Mineralizadas Con Alteración Hidrotermal Tipo Fílica Potásica en Yacimientos Tipo Pórfido De Cobre Mina Cuajone - 2018"*, tiene el objetivo principal diseñar parámetros de voladura en rocas mineralizadas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica evaluando las propiedades del macizo y matriz rocosa para mejorar los tiempos en operaciones en mina a tajo abierto de yacimiento tipo pórfido de cobre.

Para ello se evaluó en el mes de enero del año 2018, las variables; propiedades físicas y mineralógicas del macizo rocoso, diseño de malla P80, factor de potencia y velocidad de excavación en 01 proyecto de voladura y 01 polígono de minado en la Fase 6A.

Al termino del trabajo se concluye que la roca Andesita Intrusiva con Alteración Fílica Potásica contiene altas leyes de cobre clasificándose como mineral, la cual se diseñó parámetros de voladura adecuada para obtener fragmentos con P80 menor a 7.5 Pulg. También se determinó la importancia de los menores tamaños de fragmentos P80 para una buena velocidad de excavación mayores a 9000 Tn/h en la pala 06. Finalmente se recomienda mantener el factor de potencia para disparar roca con alteración hidrotermal tipo fílica potásica para obtener un p80 por debajo del targed de 7.5 Pulgadas.

ABSTRACT

The present work called “Design of Blasting Parameters in Mineralized Rocks with Potassium Fílica Hydrothermal Alteration in Copper Porphyry Deposits Cuajone Mine - 2018”, has the main objective to design blasting parameters in mineralized rocks with potassium phyllothermal hydrothermal alteration evaluating the properties of the massif and rock matrix to improve the times in operations in open pit mine of copper porphyry type deposit.

For this, the variables were evaluated in the month of January of the year 2018; Physical and mineralogical properties of the rocky massif, P80 mesh design, power factor and excavation speed in 01 blasting project and 01 mining polygon in Phase 6A.

At the end of the work, it is concluded that the Intrusive Andesite rock with Potassium Philic Alteration contains high copper grades classified as mineral, which was designed suitable blasting parameters to obtain fragments with P80 less than 7.5 in. The importance of the smaller sizes of P80 fragments for a good excavation speed greater than 9000 Tn / h in the blade 06 was also determined. Finally it is recommended to maintain the power factor to shoot rock with potassium phyllothermal hydrothermal alteration to obtain a p80 below the targed of 7.5 inches.

INDICE

RESUMEN ..... **v**

ABSTRACT ..... **vi**

I.INTRODUCCIÓN **12**

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACION DEL PROBLEMA 13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 14
1.2.1. Interrogante General 14
1.2.2. Interrogantes Específicos 14
1.3. JUSTIFICACIÓN 14
1.4. OBJETIVOS 15
1.4.1. Objetivo General 15
1.4.2. Objetivos Específicos 15
1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS 15
1.5.1. Hipótesis General 15
1.5.2. Hipótesis Específicas 15

II.MARCO TEÓRICO **17**

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO 17
2.1.1. A Nivel Nacional 17
2.1.2. A Nivel Internacional 21
2.2. BASES TEÓRICAS 22
2.2.1. Ubicación 22
2.2.2. Accesibilidad 22
2.2.3. Clima 23
2.2.4. Método de Explotación 23
2.3. GEOLOGÍA 23
2.3.1. Génesis de Yacimiento Tipo Pórfido 23
2.3.2. Génesis de Cuajone 24
2.4. Alteraciones Hidrotermales 27
2.5. Alteración Hidrotermal en Mina Cuajone 48
2.5.1. Alteración Potásica 49

2.5.2. Alteración Propílica 49
2.5.3. Alteración Fílica 49
2.5.4. Alteración Fílica-Potásica 50
2.5.5. Alteración Propílica Fílica 51
2.5.6. Alteración Argilica Fílica 52
2.5.7. Alteración Supérgena 52
2.6. OPERACIONES MINA 53
2.6.1. Perforación 53
2.6.2. Voladura 55
2.6.3. Carguío 59
2.6.4. Acarreo 60
2.7. FRAGMENTACIÓN DE ROCAS 60
2.8. VELOCIDAD DE EXCAVACIÓN 60
2.9. P80 61
2.10. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 61
III. METODOLOGÍA 65
3.1 PROCEDIMIENTOS 65
3.1.1 Lugar de Ejecución 65
3.1.2 Tipo de investigación 65
3.1.3 Diseño de Investigación 65
3.1.4 Nivel de Investigación 66
3.1.5 Operacionalización de Variables 66
3.1.6 Población y/o Muestra de Estudio 67
3.1.7 Técnicas e Instrumentos Para la Recolección de Datos 67
3.1.8 Validación y Confiabilidad de los Instrumentos 68
3.1.9 Métodos y Técnicas Para la Presentación 68
3.2 ANÁLISIS DE DATOS 71
3.2.1 Análisis Descriptivo 71
IV. RESULTADOS 72
4.1 RESULTADOS 72
4.1.1 Proyectos de Voladura 73
4.1.2 Polígonos de Minado 76

4.1.3 Equipos de Minado 76
4.1.4 Trazabilidad de proyecto de voladura disparado Vs Polígono de Minado el 31 de enero....77
4.2 Comprobación de Hipótesis 77
4.2.1 Variable control de P80 77
4.2.2 Variable Velocidad de Excavación 80
4.2.3 Comprobación de Hipótesis 83
V. CONCLUSIONES 85
VI. RECOMENDACIONES 87
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 88
VIII. ANEXOS 91
ANEXO A 91
ANEXO B 92
ANEXO C 93
ANEXO D 94
ANEXO E 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Asociaciones minerales de alteración Asociaciones minerales de ocurrencia común en los principales tipos de alteración en rocas alumino-silicatadas; el cuarzo usualmente está presente en todas (basado en Meyer y Hemley, 1967).....39
Figura 2, Asociaciones de minerales de alteración comunes en sistemas hidrotermales (Corbett, 1998) 42
Figura 3.Mapa de alteraciones de las muestras del yacimiento minero Cuajone. (Fuente: (Gagliuffi & Vera, 2018) Ingemet. 53
Figura 4, Prueba de densidad de copa que muestra el efecto de esponjamiento por las burbujas. (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018) 56
Figura 5, Ejemplo de comparación de densidad de carga de micro sensibilizador versus emulsión sensibilizada con gases químicos.((ISEE, 2016) 57
Figura 6.Diseño de carga para la zona de mineral con roca Andesita Intrusiva con Alteración Hidrotermal Fílica Potásica (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018.) 71
Figura 7. Logueo de Detritus del proyecto 3085-610. (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares-Mina Cuajone).....73
Figura 8. Detalle de carguío del proyecto 3085-610 (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares-Mina Cuajone).....74
Figura 9. Secuencia de Salida del proyecto 3085-810. (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares-Mina Cuajone).....74
Figura 10. Imágenes de antes y post voladura de proyecto 3085-810. (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares-Mina Cuajone).....75
Figura 11.Histograma de P80 en roca IA-FIL-PTK pala 06. (Elaboración propia) 80
Figura 12- Histograma de velocidad de excavación en roca IA-FIL-PTK pala 06.(Elaboración propia).....83
Figura 13. Diagrama de dispersión, P80 vs velocidad de excavación –pala 06 (Elaboración propia) 84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Productos de reemplazo 31
Tabla 2. Comportamiento Típico de Elementos 35
Tabla 3.Lista de perforadoras primarias.....54
Tabla 4.Lista de densidades de distinta proporción. 55
Tabla 5. Factor de potencia en Fase 6A 58
Tabla 6. Parámetros de Carguío.....58
Tabla 7. Equipos de carguío. 59
Tabla 8, Equipos de acarreo.....60
Tabla 9, Propiedades físicas.....69
Tabla 10. Caracterización de roca. 69
Tabla 11, Parámetros Perforación 69
Tabla 12, Parámetros de voladura.....70
Tabla 13, Parámetros de voladura ejecutado.....72
Tabla 14, Datos del polígono de minado.....76
Tabla 15, Datos de los equipos de carguío.....76
Tabla 16, Datos de proyecto y polígono evaluados.....77
Tabla 17, Estadística descriptiva en roca IA-FIL-PTK pala 06. 78
Tabla 18, Datos de histograma de P80.....79
Tabla 19, Estadística descriptiva en roca IA-FIL-PTK pala 06. 81
Tabla 20, Datos de histograma de velocidad de excavación.....82

I. INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación “Diseño De Parámetros De Voladura En Rocas Mineralizadas Con Alteración Hidrotermal Tipo Fílica Potásica en Yacimientos Tipo Porfido De Cobre Mina Cuajone - 2018” como parte del control de parámetros de voladura en mineral se realiza el seguimiento de variables de tamaños de fragmentos y velocidad de excavación en el proceso de carguío de la pala 6 en la Fase 6A.

En la fase 6A se tiene la roca Andesita Intrusiva con Alteración Hidrotermal Tipo Fílica potásica en la cual se realizó su seguimiento en proyectos de voladura y polígonos de minado con presencia de la roca estudiada, las herramientas usadas para el seguimiento de variables de tamaños de fragmentos se usó el Split Online® y la velocidad MineOp® esto nos permitirá controlar los parámetros de voladura para mineral.

En el primer capítulo se desarrolla la presentación del problema, justificación, objetivos e hipótesis de la investigación.

En el segundo capítulo se desarrolla la revisión de antecedentes, se describe las características geográficas donde se desarrolló el trabajo, la geología de la zona de estudio y finalmente la definición de términos.

En el tercer capítulo se desarrolla la metodología de cómo se desarrolló el trabajo de investigación indicando las variables de estudio y se determina la población y muestra de estudio. También se detalla el método de análisis y presentación de resultados.

En el cuarto capítulo se describe y se analizan los 6 proyectos de voladura y 8 proyectos de minado comparándolos en variables de Factor de potencia, calidad de fragmentación cuantificando el p80 y velocidad de excavación para cada frente de la pala 06. Finalmente, en los dos últimos capítulos se tiene las conclusiones y recomendaciones.

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACION DEL PROBLEMA

En las operaciones mineras superficiales se requiere estudios de propiedades físico mecánicos y mineralógicos de la roca intacta y macizo rocoso con alteración hidrotermal tipo fílica potásica en yacimientos tipo pórfido de cobre para definir como mineral a la zona de perforación voladura y carguío con el objetivo de hacer un buen diseño de parámetros de voladura para obtener frentes de material bien fragmentado que contribuirá al proceso de carguío con una buena velocidad de excavación.

Al obtener una mayor comprensión de cómo influye un buen diseño de voladura para obtener buena fragmentación y velocidad de excavación, esta nos hará posible sustentar implementación de mejoras en el proceso de voladura el cual permitirá un óptimo proceso de carguío de mineral como parte contexto de reducir el costo global de operación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Interrogante General

¿Cómo diseñar parámetros de voladura en rocas mineralizadas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica evaluando las propiedades del macizo y matriz rocosa para mejorar los tiempos en operaciones en mina a tajo abierto de yacimiento tipo pórfido de cobre?

1.2.2. Interrogantes Específicos

¿Se puede controlar el P80 de fragmentos teniendo el criterio de propiedades físico mecánicas de las rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica?

¿Se puede definir como mineral por el contenido mineralógico en rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica?

¿Se puede controlar la velocidad de excavación en fragmentos de rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica?

1.3. JUSTIFICACIÓN

En las operaciones mineras superficiales se exige mayor productividad en el proceso de minado, específicamente en la operación minera superficial Cuajone se requiere diseñar parámetros de voladura en rocas con alteración hidrotermal tipo filico potásico en la fase 6A, es importante por su contenido mineralógico que resulta material volado que se clasifica como mineral.

Con el objetivo de obtener fragmentos con P80 menores a 7.5 Pulg que nos permitirá tener mejores indicadores de velocidad de excavación en el carguío de la pala 06 hacia los camiones Komatsu 930E que llevaran el material con destino a la chancadora primaria

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Diseñar parámetros de voladura en rocas mineralizadas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica evaluando las propiedades del macizo y matriz rocosa para mejorar los tiempos en operaciones en mina a tajo abierto de yacimiento tipo pórfido de cobre.

1.4.2. Objetivos Específicos

Controlar el P80 de fragmentos desde el criterio de una roca con alteración hidrotermal tipo fílica potásica.

Definir el material como mineral por el contenido mineralógico en rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica.

Controlar la velocidad de excavación en operaciones de carguío en fragmentos de rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica.

1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis General

Diseñar parámetros de voladura en rocas mineralizadas con alteración hidrotermal tipo flica potásica evaluando las propiedades del macizo y matriz rocosa para mejorar los tiempos en operaciones en mina a tajo abierto de yacimiento tipo pórfido de cobre.

1.5.2. Hipótesis Específicas

Se puede controlar el P80 de fragmentos con conocimientos de propiedades de las rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica.

Se puede definir cómo mineral a las rocas con alteración hidrotermal filico potásica.

Se puede controlar la velocidad de excavación estándar con rocas fragmentadas adecuadamente.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. A Nivel Nacional

Choqueña Ccallata, J. (2009) Optimización de la fragmentación de la roca mediante las características geomecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos - U.M. APUMAYO S.A.C. (Tesis pregrado) Universidad Nacional del Altiplano, Puno. p 224. Se ha determinado las características geomecánicas de la masa rocosa en tajo Apumayo Sur proceso productivo banco 4112 Proyecto 05, los resultados han sido obtenidas de evaluación de las discontinuidades en una progresiva de 23 m consolidados en un registro lineal, el tipo de roca es una andesita alterada, el RQD es 92%, la roca alterada es sílice alunita, clay, propilítico, sílice granular y sílice masiva, la resistencia compresiva uniaxial es 23 MPa, según Bieniawski 1989 el RMR básico es 52, mediante la evaluación de parámetros, la andesita alterada es de categoría III, calidad regular-media.

Ale Véliz, J. (2012), Influencia de la alteración hidrotermal en la calidad del macizo rocoso en taludes de tajos abiertos. (Tesis Post Grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. P 85. Se realizó la variación de la clasificación de los macizos rocosos en el sistema de clasificación GSI. La condición de frente, y el parámetro mí se varió linealmente con la variación del grado de alteración, mientras que la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta se obtuvo de las curvas de correlación obtenidas. La clasificación GSI no varía con la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta, pero si con el grado de alteración del frente; para una condición de fracturamiento intermedia, el valor de GSI varia de 17 a 63 en función al grado de alteración de las superficies de discontinuidades o de frente que se han directamente relacionado con el grado de alteración del macizo rocoso. Se obtuvieron parámetros de las envolventes de resistencia al corte según el criterio de falla de Hoek-Brown; en el caso particular se realizaron los análisis de estabilidad de taludes considerando la envolvente no lineal de resistencia al esfuerzo de corte propuesta por Hoek-Brow, considerando una variación de los valores del parámetro mi dentro del rango sugerido por Hoek.

Gagliuffi, P. & Vera, M. (2018) Caracterización petromineralógica de los yacimientos Toquepala y Cuajone. p. 201. La litología observada en los yacimientos de Toquepala y Cuajone corresponde a pórfidos dacíticos, andesitas porfiríticas, intrusivos tonalíticos y rocas filonianas.

En las muestras de roca se han observado alteraciones de tipo fílica, potásica, propilítica y argílica, con minerales como magnetita, hematita, pirita, calcopirita, molibdenita, bornita, esfalerita y galena.

En cuanto a la mineralización metálica de las minas deToquepala y Cuajone se aprecian minerales hipógenos integrados por el rutilo, magnetita, hematita, pirita, pirrotita, calcopirita, tenantita, galena, enargita, supérgenos derivados de la alteración de los minerales hipógenos, tales como bornita calcocita, covelita y goethita.

Cotrado, R (2018) Efecto Del Parámetro De Fragmentación P80 En La Velocidad De Excavación De Las Palas Electro-Mecánicas En Mina Cuajone. (Tesis pregrado) Universidad Nacional del Altiplano, Puno P. 83. Se evaluó la velocidad de excavación en palas de 42,8; 45,9 y 55,8 m3 de capacidad que cargan a volquetes de 363 y 290 TM, evidenciándose que sufren tendencia al incremento de la velocidad de excavación (mayor a 9 000 TM/h) cuando se reduce la fragmentación P80 del material (menor a 40 cm) y por otro lado sufre tendencia a la reducción de la velocidad de excavación cuando se incrementa la fragmentación P80 del material (mayor a 40 cm). Además, se observa que no se produce incremento o reducción significativa de la velocidad de excavación para intervalos pequeños de fragmentación P80 (variación de 1 a 5 cm), esto sucede debido al gran tamaño de los cucharones de las palas.

Machaca, J (2015) Determinación de la Fragmentación Utilizando el sistema Split online en Los frentes de minado de las palas En la unidad minera Cuajone de La empresa Southern Peru Copper Corporation, Moquegua 2015" (Tesis pregrado) Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua. P. 118-119. Con el uso de una tecnología automatizada como el Sistema Split Online para determinar la fragmentación de la roca, se puede obtener mayores resultados más representativos y confiables en un

menor tiempo, y no solo eso, sino también al alcance de cualquier usuario a cualquier momento del día, en forma de reportes didácticos y finalmente tener toda una base de datos detallado. En mina Cuajone, para las pruebas iniciales se instaló el sistema Split Online en 5 Palas las cuales determinaran la fragmentación en tiempo real durante todo el día.

De las pruebas realizadas se concluye, que la cantidad de muestras tomadas (fotos tomadas) para determinar el grado de fragmentación de roca, influye mucho en el grado de error que ofrecerá, es decir, no es lo mismo hallar el grado de fragmentación con solo dos o tres fotos (cantidad de fotos que toma Wipfrag), que hallar el grado de fragmentación con 100, 200, 300 o 500 fotos (Cantidad de fotos que toma el Sistema Split Online). Finalmente, de las 46 pruebas realizadas se concluye que el Sistema Split Online ofrece un error del 3%, mientras que el software Wipfrag ofrece un error del 16%. Y como un dato adicional se concluye que existe una variación promedio de 2 pulgadas entre el P80 del Wipfrag y el P80 del Sistema Split Online, siendo siempre mayor el P80 del Sistema Split Online.

Del estudio realizado con solo extender la malla de 9x9m a 9.5x9.5m el costo de explosivo disminuye en 0,019 $/TM y el costo de perforación disminuye en 0.01 $/TM. Finalmente se ahorró dinero, manteniendo el grado de fragmentación dentro de los estándares requeridos y manteniendo el tiempo de carguío. Cabe mencionar que mantener el grado de fragmentación dentro de los estándares deseados es muy importante, ya que implica que los costos tanto de mina como de planta concentradora aumenten por la fragmentación inadecuada.

2.1.2. A Nivel Internacional

Zúñiga Torres P. (2015), Diseño de tronaduras y su impacto en el costo mina de compañía minera cerro negro. (Tesis de Pregrado). Universidad de Chile. P 99. Si bien la reducción de los costos de P&T no se reflejan en el costo mina, existen beneficios operacionales que hay que destacar, estos son un menor desgaste de los equipos de perforación, menor gasto en explosivo y mejor rendimiento de las operaciones de carguío. En los procesos aguas abajo existirán beneficios tales como, menor atasque de sobretamaño en el chancador, uso eficiente del equipo de conminución, mejor rendimiento operacional del Chancador primario, y por lo tanto, menos gasto en energía. Esta última característica corresponde a un factor influyente en la minería actual debido a los altos precios que la energía tiene actualmente en Chile.

La distribución de la fragmentación de roca influye en una gama de procesos de minería y molienda, incluidas las tasas de carga y acarreo, el rendimiento de trituración y molienda y la recuperación de mineral en los procesos de beneficio (Michaud et al., 1997).

En la minería a cielo abierto, donde la voladura se emplea para la excavación, la efectividad del costo total de las operaciones de producción es compatible con la optimización de los parámetros de perforación y voladura. La fragmentación de la roca depende de dos grupos de variables: propiedades de masa rocosa que no se pueden controlar y parámetros de diseño de perforación y voladura que se pueden controlar y optimizar. Los costos de las operaciones descendentes se pueden reducir optimizando los parámetros de diseño

de la explosión para proporcionar la fragmentación del objetivo. Los parámetros de fragmentación del objetivo son específicos del equipo y varían de una categoría de mina a mina. El alto nivel de mecanización y la naturaleza integrada de los sistemas de producción adoptados en la industria minera exigen que todas las unidades funcionen con la confiabilidad y capacidad diseñadas para lograr los objetivos de producción planificados (Singh y Narendrula, 2009).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Ubicación

El yacimiento minero tipo pórfido de Cobre de Cuajone se encuentra inscrito en el catastro minero con el nombre de acumulación Cuajone, propiedad de Southern Perú Copper Corporation, demarcado en el distrito Torata, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, entre los cuadrángulos de (34U) y Moquegua (35U), ubicado en la zona UTM 19, con coordenada central; 318,000 Este; 814,842 Norte, geográficamente se encuentra a 17°02´Latitud Sur; 70°42’ Latitud Oeste W con elevación de 2950-3880 m.s.n.m. (INGEMET, 2018).

2.2.2. Accesibilidad

El acceso al yacimiento se realiza desde Moquegua por la Carretera Interoceánica Sur en dirección a Torata, hasta el cruce con la Carretera Cuajone, donde se debe proseguir el viaje por esa carretera hasta llegar al yacimiento.

Las distancias promedias con las ciudades más importantes son:

- Lima: 1 191 km.
- Arequipa: 272 km.
- Tacna: 205 km.
- Moquegua: 45 km.

2.2.3. Clima

Las condiciones climáticas varían con la altitud, desde moderadamente templadas hasta el frío intenso. En la zona de Moquegua, el clima es cálido durante todo el año. En las partes media y alta, la temperatura se torna cada vez más baja, las mañanas tardes son muy frías y en las noches la temperatura desciende por debajo de 0°.

2.2.4. Método de Explotación

La mina Cuajone se explota por el método de tajo abierto, con bancos o niveles de minado de 15 metros de altura, con 825 m de diferencia de altura vertical entre el nivel de minado más bajo es de 2995 m.s.n.m. y el nivel de minado más alto es de 3820 m.s.n.m.

2.3. GEOLOGÍA

2.3.1. Génesis de Yacimiento Tipo Pórfido

Los depósitos del tipo pórfido de cobre se encuentran ampliamente distribuidos en la región circunpacífica, asociados tectónicamente a los arcos de islas magmáticos de las zonas de subducción (teoría tectónica de placas) y un magmatismo calco alcalino de composición intermedia.

El avance de la Placa Continental Sudamericana sobre la Placa Subductora del Pacífico Oriental es la responsable de la formación de una

serie de yacimientos mayormente localizados en el Norte de Chile y Sur del Perú.

La Placa del Pacífico subductora a la Placa Continental favoreció a los procesos de fusión y diferenciación magmática con altos contenidos de cobre, como subproducto molibdeno y minerales de plata entre otros, la fusión permitió el engrosamiento de la litosfera cerca de a los bordes de la placa continental y a la apertura de zonas de debilidad (Fallas, fisuras, contactos, etc.) por donde circularon los magmas, fluidos y gases a grandes presiones y temperaturas, generando por alteración hidrotermal en zonas propicias para que se depositen las soluciones mineralizantes.

El modelo genético para el yacimiento de Cuajone está basado principalmente al conocimiento de la mina, a través de las perforaciones diamantinas que se han realizado, mapeos geológicos de campo, estudios de geofísica y geoquímica, al avance del plan de minado a corto plazo y largo plazo, a los diferentes controles geológicos: fisiográficos, litoestratigraficos, mineralización, alteración y estructural. (Bernabé ,2012)

2.3.2. Génesis de Cuajone

El yacimiento de Cuajone se encuentra emplazado dentro de la "Subprovincia Cuprífera del Pacífico" en el Flanco Occidental de los Andes, alineado en una dirección Noroeste con otros depósitos importantes como Cerro Verde, Quellaveco y Toquepala.

Localmente, las rocas más antiguas que afloran en Cuajone pertenecen al Grupo Toquepala cuyas edades fluctúan entre 34 y 100 MA La roca más antigua y que se constituye como el basamento de Cuajone

está representada por una Andesita que localmente es denominada como Andesita Basáltica cuya potencia excede los 800 m. Se le considera como una serie de flujos andesíticos pertenecientes posiblemente a la Formación Paralaque, pero últimamente está cobrando mayor fuerza la teoría de que esta roca es un intrusivo somero perteneciente al Batolito Andino del Sur que correlacionaría con la Diorita que se tiene en Toquepala.

Sobreyaciendo a la Andesita Basáltica, posteriormente se depositó la secuencia volcánica perteneciente al Volcánico Quellaveco.

Tanto la Andesita Basáltica como el Volcánico Quellaveco que pertenecen al Grupo Toquepala, los cuales se habrían depositado entre 70 y 100 MA (Fines del Cretáceo - comienzos del Terciario).

Entre 60 y 65 MA, se tiene la intrusión de un cuerpo Diorítico-Granodiorítico elongado con una dirección predominante hacia el Norte que aflora al Oeste de la mina.

Posteriormente, entre 50 y 60 MA, se presenta la intrusión de la Latita Porfirítica en tres eventos o pulsos magmáticos de los que resulta más importante destacar el Primer Pulso Intrusivo que trajo consigo un intenso fracturamiento y alteración tanto de la roca intrusiva como de la roca encajonante que permitió crear las condiciones propicias para que se depositara la mineralización de Cuajone. El Segundo Pulso Intrusivo tiene menor relevancia porque mineralizó las rocas en menor magnitud. El Tercer Pulso Intrusivo prácticamente no aportó mineral.

Una vez formado el Cuerpo Mineralizado de Cuajone, se presentó un largo Proceso Erosivo que duró entre 24 y 50 MA aproximadamente. La

erosión afectó a la gran mayoría del Grupo Toquepala erosionando inclusive a gran parte de las rocas pertenecientes al Volcánico Quellaveco. Esto permitió que el Nivel Freático descendiera de tal forma que el cuerpo mineralizado fue parcialmente lixiviado, oxidado y enriquecido en este lapso de tiempo.

Entre 17 y 23 MA Se reanudó la actividad magmática depositándose la secuencia de rocas de la Formación Huaylillas que alternativamente es nuevamente erosionada conformando paleovalles que fueron rellenados con aglomerados y conglomerados especialmente en su fase final.

Entre 14 y 17 MA, ocurre un tercer proceso erosivo que se presenta mayormente entre lo que actualmente se conoce como las quebradas de Chuntacala y Torata llegando a exponer en superficie rocas pertenecientes al Grupo Toquepala. Probablemente por el descenso del Nivel Freático, también la mineralización habría sido lixiviada, oxidada y enriquecida en este sector, pero en menor magnitud.

Posteriormente entre 9 y 14 MA, se reanudó nuevamente la actividad magmática con periodos erosivos intraformacionales que permitieron la deposición de los volcánicos de la Formación Chuntacala.

Finalmente, en el lapso de los últimos 9 MA, se tiene un cuarto periodo erosivo que vendría a constituir la topografía que se tuvo previo al minado de la mina Cuajone cuya manifestación se puede apreciar principalmente en los valles que conforman las quebradas de Torata, Chuntacala y Cocotea. (Bernabé ,2012)

2.4. Alteraciones Hidrotermales

La alteración hidrotermal es un término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en térmicos químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas. La alteración hidrotermal ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma. Aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria (hidrotermal), su efecto es menor que el debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido.

En efecto, la temperatura del fluido y el pH del mismo son los factores más relevantes en la asociación mineralógica resultante de los procesos de alteración hidrotermal, más que la litología. Ej., La asociación mineralógica: cuarzo, albita, feldespato-K, clorita, epidota férrica, illita, calcita y pirita, se ha encontrado en basaltos en Islandia, areniscas en Imperial Valley, riolitas en Nueva Zelanda y andesitas en Indonesia. Esa asociación de minerales de alteración se ha producido en el rango de temperatura de 250º-280ºC.

La susceptibilidad a la alteración es variable en los minerales primarios de las rocas. El más reactivo es el vidrio volcánico, frecuentemente alterado primero a ópalo, smectita, calcita o zeolita y luego a minerales de arcilla.

En términos generales se puede establecer un orden relativo de susceptibilidad a la alteración de los minerales, a saber:

Olivino > magnetita > hiperstena > hornblenda > biotita = plagioclasa

El cuarzo es resistente a la alteración hidrotermal y no es afectado hasta temperaturas de 300ºC, pero hay evidencias de recristalización del cuarzo a mayores temperaturas. Es relativamente frecuente que en rocas alteradas intensamente cuya textura original ha sido completamente obliterada, se preserven cristales de cuarzo primarios.

La característica esencial de la alteración hidrotermal es la conversión de un conjunto mineral inicial en una nueva asociación de minerales más estable bajo las condiciones hidrotermales de temperatura, presión y sobre todo de composición de fluidos. La textura original de la roca puede ser modificada ligeramente o completamente obliterada por la alteración hidrotermal.

La alteración hidrotermal es un tipo de metamorfismo que involucra la recristalización de la roca a nuevos minerales más estables bajo las condiciones hidrotermales. La característica distintiva de la alteración hidrotermal es la importancia del fluido hidrotermal en transferir constituyentes y calor. En efecto, la alteración hidrotermal involucra la circulación de volúmenes relativamente grandes de fluidos calientes atravesando las rocas permeables debido a la presencia de fisuras o poros interconectados. El fluido tiende a estar considerablemente fuera de equilibrio termodinámico con las rocas adyacentes y esto genera las modificaciones en la composición mineralógica original de las rocas,

puesto que componentes en solución y de los minerales sólidos se intercambian para lograr un equilibrio termodinámico.

El transporte de materiales involucrados en la alteración de las rocas puede ocurrir por infiltración o por difusión (transporte por difusión de especies químicas a través de fluidos estancados en los poros de las rocas) o por una combinación de ambos procesos. Si la evidencia geológica muestra que los materiales o componentes químicos se movieron a gran distancia el medio de transporte dominante probablemente fue la infiltración. En sistemas hidrotermales la difusión e infiltración ocurren simultáneamente.

Factores que controlan a la alteración hidrotermal de las rocas.

(a) Temperatura y la diferencia de temperatura (Δt^o) entre la roca y el fluido que la invade: mientras más caliente el fluido mayor será el efecto sobre la mineralogía original.

(b) Composición del fluido; sobre todo el pH del fluido hidrotermal: mientras más bajo el pH (fluido más ácido) mayor será el efecto sobre los minerales originales.

(c) Permeabilidad de la roca: Una roca compacta y sin permeabilidad no podrá ser invadida por fluidos hidrotermales para causar efectos de alteración. Sin embargo, los fluidos pueden producir fracturamiento hidráulico de las rocas o disolución de minerales generando permeabilidad secundaria en ellas.

(d) Duración de la interacción agua/roca y variaciones de la razón agua/roca. Mientras mayor volumen de aguas calientes circulen por

las rocas y por mayor tiempo, las modificaciones mineralógicas serán más completas.

(e) Composición de la roca; la proporción de minerales: es relevante para grados menos intensos de alteración, dado que los distintos minerales tienen distinta susceptibilidad a ser alterados, pero en alteraciones intensas la mineralogía resultante es esencialmente independiente del tipo de roca original.

(f) Presión: este es un efecto indirecto, pero controla procesos secundarios como la profundidad de ebullición de fluidos, fracturamiento hidráulico (generación de brechas hidrotermales) y erupción o explosiones hidrotermales.

Los dos factores iniciales temperatura y composición del fluido hidrotermal son lejos los más importantes para la mineralogía hidrotermal resultante de un proceso de alteración. Esto es relevante porque las asociaciones de minerales hidrotermales nos dan indicios de las condiciones en que se formaron depósitos minerales de origen hidrotermal.

La intensidad de la alteración corresponde a un término objetivo que se refiere a la extensión en que una roca ha sido alterada, mientras que el grado de alteración es un término subjetivo que requiere una interpretación basada en la mineralogía de alteración. Sin embargo, se han propuesto los términos pervasividad para indicar la intensidad de la alteración y extensividad para indicar la distribución espacial de la alteración hidrotermal. Estos últimos términos fueron propuestos para cuantificar porcentualmente la intensidad y extensión de alteración hidrotermal. Sin embargo, en la práctica nunca se generalizó su uso en tal sentido, pero el

término pervasivo, se utiliza corrientemente para referirse a que tan penetrativa es la alteración de las rocas. Una alteración pervasiva se refiere a aquella en que una roca está completamente alterada en todo su volumen, en contraposición a alteraciones poco pervasivas donde la alteración se limita a las vecindades de las fracturas por donde circuló el fluido, pero las partes masivas de las rocas están inalteradas.

Aunque como se indicó anteriormente dependiendo de la intensidad de la alteración la mineralogía final hidrotermal puede no ser influenciada por la composición mineralógica inicial de la roca. La composición de algunos minerales proporciona los componentes para ciertos minerales hidrotermales, a saber:

Tabla 1. *Productos de reemplazo*

Mineral Original	Productos de reemplazo hidrotermal
Vidrio Volcánico	Zeolitas (Ej. mordenita, laumontita), cristobalita, cuarzo, calcita, arcillas (Ej. montmorillonita)
Magnetita/ilmenita/titanomagnetita	Pirita, leucoxeno, esfena, pirrotina, hematita
Piroxena/anfíbola/olivino/calcita/biotita	Clorita, illita, cuarzo, pirita, anhidrita
Plagioclasa cálcica, biotita	Calcita, albita, adularia, wairakita, cuarzo, anhidrita
Plagioclasa cálcica	Calcita, albita, adularia, wairakita, cuarzo, anhidrita, clorita, illita, caolín, montmorillonita, epidota
Ortoclasa/sanidina	Adularia

Productos típicos de reemplazo por alteración (Fuente: Alteración hidrotermal)

Procesos debidos a la alteración hidrotermal

Depositación directa: muchos minerales se depositan directamente a partir de soluciones hidrotermales. Para poder hacerlo es obvio que la roca debe tener pasajes para que el fluido pueda moverse dentro de ellas. Ej. diaclasas, fallas, fracturas hidráulicas, discordancias, zonas brechosas, huecos, poros y fisuras.

El cuarzo, calcita y anhidrita forman fácilmente venillas y relleno de huecos en las rocas, pero también se ha observado localmente clorita, illita, adularia, pirita, pirrotina, hematita, wairakita, fluorita, laumontita, mordenita, prehnita y epidota que deben haberse depositado directamente de un fluido hidrotermal.

Reemplazo: Muchos minerales de las rocas son inestables en un ambiente hidrotermal y estos tienden a ser reemplazados por nuevos minerales que son estables o al menos metaestables en las nuevas condiciones. La velocidad del reemplazo es muy variable y depende de la permeabilidad de la roca.

Lixiviación: Algunos de los componentes químicos de las rocas son extraídos por los fluidos hidrotermales al atravesarlas, particularmente cationes metálicos, de modo que la roca es deprimida en dichos componentes o lixiviada. En ciertas condiciones, como por ejemplo donde se condensa vapor acidificado por oxidación de H_2S, la solución ácida resultante (por la presencia de H_2SO_4) ataca las rocas disolviendo minerales primarios, pero sin reemplazar los huecos resultantes que se

producen. Esto puede en casos extremos resultar en una masa porosa de cuarzo residual.

La alteración hidrotermal y mineralización concomitante son el resultado de un proceso irreversible de intercambio químico entre una solución acuosa y rocas adyacentes. Ciertos componentes son extraídos selectivamente de las rocas de caja y son agregados al fluido y otros componentes (incluyendo metales de mena) son selectivamente incorporados por las rocas (o forman una cubierta sobre ellas) y son removidos del fluido hidrotermal. El resultado de este proceso depende de las condiciones físicas en la interfase fluido-roca y en las cantidades relativas de fluido y roca involucrados en el proceso de intercambio químico (razón agua/roca). Solo la roca alterada es el resultado visible del proceso, porque el fluido es removido del sistema, a excepción de posibles inclusiones fluidas en los minerales precipitados.

Algunos tipos de alteración involucran solo una transferencia en un sentido del fluido a la roca o viceversa, a saber:

Ganancia o pérdida de:

- Hidratación / deshidratación, H_2O
- Carbonatación / decarbonatación, CO_2
- Oxidación / reducción, O_2
- Sulfuración / reducción SO_2

Estos procesos están controlados por: presión, fugacidad, concentración, actividad o potencial químico de los componentes

involucrados. La precipitación o disolución de un mineral también es un proceso en un sentido y el parámetro controlador es la solubilidad.

Las reacciones de intercambio iónico son importantes en los procesos de alteración. Ej. el intercambio de Mg_{2+} por Ca_{2+} (intercambio catiónico); Las reacciones de intercambio iónico también se conocen como cambio de base y corresponden a una reacción por la cual cationes adsorbidos en la superficie de un sólido, tal como un mineral de arcilla o zeolita son reemplazados por cationes en la solución circundante. El intercambio de cationes Ca_{2+} y Na^{+} de plagioclasas por K^{+} para originar feldespato potásico corresponde a este tipo de reacción y caracteriza a la alteración potásica. El intercambio de cationes metálicos de los minerales de una roca por H^{+} corresponde a un caso especial, conocido como hidrólisis y es muy importante en la mayoría de los tipos de alteración hidrotermal.

La alteración hidrotermal produce cambios en las propiedades de las rocas alterando su densidad (aumento o disminución), porosidad, permeabilidad (aumento o disminución), susceptibilidad magnética (usualmente disminuye, pero puede aumentar cuando se deposita magnetita hidrotermal) y resistividad (usualmente decrece porque los sulfuros metálicos permiten el paso de corrientes eléctricas, pero masas silíceas producto de alteración pueden ser más resistivas). Simultáneamente con esos cambios físicos pueden ocurrir eventos relacionados o sin relación como fallamiento y formación de diaclasas/fracturas que afectan el proceso de alteración.

El reemplazo, lixiviación y depositación de minerales también causa cambios químicos cuya extensión y naturaleza varía mucho, pero los cuales son obviamente función de la mineralogía.

Tabla 2. Comportamiento Típico de Elementos

Elemento mayor	Cambio	Mineral hidrotermal en el que se incorpora
SiO_2	Agregado	Cuarzo, cristobalita, silicatos
TiO	No cambia	Esfena, leucoxeno
Al_2O_3	Agregado y removido	Muchos silicatos, algunos óxidos.
Fe_2O_3 y FeO	Agregado y removido	Cloritas, pirita, pirrotita, siderita, epidota, hematita.
MnO	No cambia	
MgO	Removido	Clorita, biotita
CaO	Agregado y removido	Calcita, wairakita, epidota, prehnita, anhidrita, montmorillonita, esfena, fluorita, zeolitas, wollastonita
Na_2O	Agregado y removido	Albita
K_2O	Agregado	Adularia, illita, alunita, biotita
CO_2	Agregado	Calcita, siderita
S, SiO_3	Agregado	Anhidrita, alunita, pirita, pirrotina, baritina
H_2O	Agregado	Todas las arcillas, epidota, prehnita, zeolitas, diasporo, pirofilita, anfíbolas
P_2O_5	No cambia o agregado	Apatita
Cl	Removido	Halita
F	Agregado o no cambia	Fluorita

El comportamiento típico de los elementos mayores durante la alteración hidrotermal en rocas volcánicas reaccionando con un fluido caliente (Fuente: Alteración hidrotermal)

Reacciones de hidrólisis

La estabilidad de feldespatos, micas y arcillas en procesos de alteración hidrotermal es comúnmente controlada por hidrólisis, en la cual K^+, Na^+, Ca_{2^+}, y otros cationes se transfieren de minerales a la solución y el

H+ se incorpora en las fases sólidas remanentes. Esto ha sido denominado metasomatismo de hidrógeno (Hemley and Jones, 1964).

La hidrólisis es una reacción de descomposición que involucra la participación de agua. En geología corresponde a la reacción entre minerales silicatados ya sea con agua pura o con una solución acuosa, en la cual los iones H^+y OH^-son consumidos selectivamente.

$$\mathbf{H^+ + OH^- = H_2O} \text{ (1)}$$

Las reacciones de hidrólisis son muy importantes en los procesos de alteración hidrotermal y algunos tipos de alteraciones son el resultado de distinto grado de hidrólisis de los minerales constituyentes de las rocas.

Clasificación de alteraciones

La alteración hidrotermal produce un amplio rango de mineralogía, abundancia mineral y texturas en distintas rocas. Esto hace que sea complicado tener un criterio uniforme para la clasificación de tipos de alteración. Los autores de mapeos y de estudios de alteración generalmente han simplificado sus observaciones clasificando las rocas alteradas en grupos.

El método más simple es mediante la utilización del mineral más abundante y más obvio en la roca alterada. De ahí derivan denominaciones como:

Denominación	Presencia dominante de
Silicificación	sílice o cuarzo
Sericitización	sericita
Argilización	minerales de arcilla
Cloritización	clorita
Epidotización	epidota
Actinolitización	actinolita Etc.

Aunque esta nomenclatura simple se emplea comúnmente, en realidad los minerales de alteración no se presentan individualmente, sino que forman ciertos grupos o asociaciones de minerales de alteración.

Otra aproximación al problema de clasificar alteraciones hidrotermales es basarse en los cambios químicos dominantes durante la alteración. Un ejemplo de esto son los términos: metasomatismo de hidrógeno, metasomatismo portásico o metasomatísmo de flúor. Sin embargo, esta clasificación no es muy práctica debido a que son varios los elementos que son introducidos o removidos de las rocas en distintas proporciones, lo que complica este tipo de clasificación en detalle.

Es más práctico clasifica las alteraciones hidrotermales por la asociación de minerales de alteración presentes en las rocas. Una asociación de minerales de alteración refleja las condiciones de temperatura, presión, composición química del fluido hidrotermal, mineralogía de la roca original y el tiempo que tomó para lograr un equilibrio termodinámico entre la roca y el fluido.

Se requiere una observación detallada de los minerales y sus texturas para identificar la asociación de minerales correcta. Por otra parte, existe una variedad de términos para designar tipos de alteración basados en este criterio que han usado diferentes autores. Ej. alteración argílica intermedia y avanzada, propilítica, biotita-ortoclasa.

No siempre los términos para tipos de alteración han sido utilizados con un criterio uniforme por distintos autores. Por ejemplo, el término alteración fílica fue originalmente propuesto por Burnham (1962) para incluir alteraciones que produzcan filisilicatos, tanto alteraciones sericíticas, como biotíticas. Sin embargo, Lowell y Gilbert (1970) y otros autores en adelante han usado el término alteración fílica a rocas con alteración serícítica o cuarzo-sericítica.

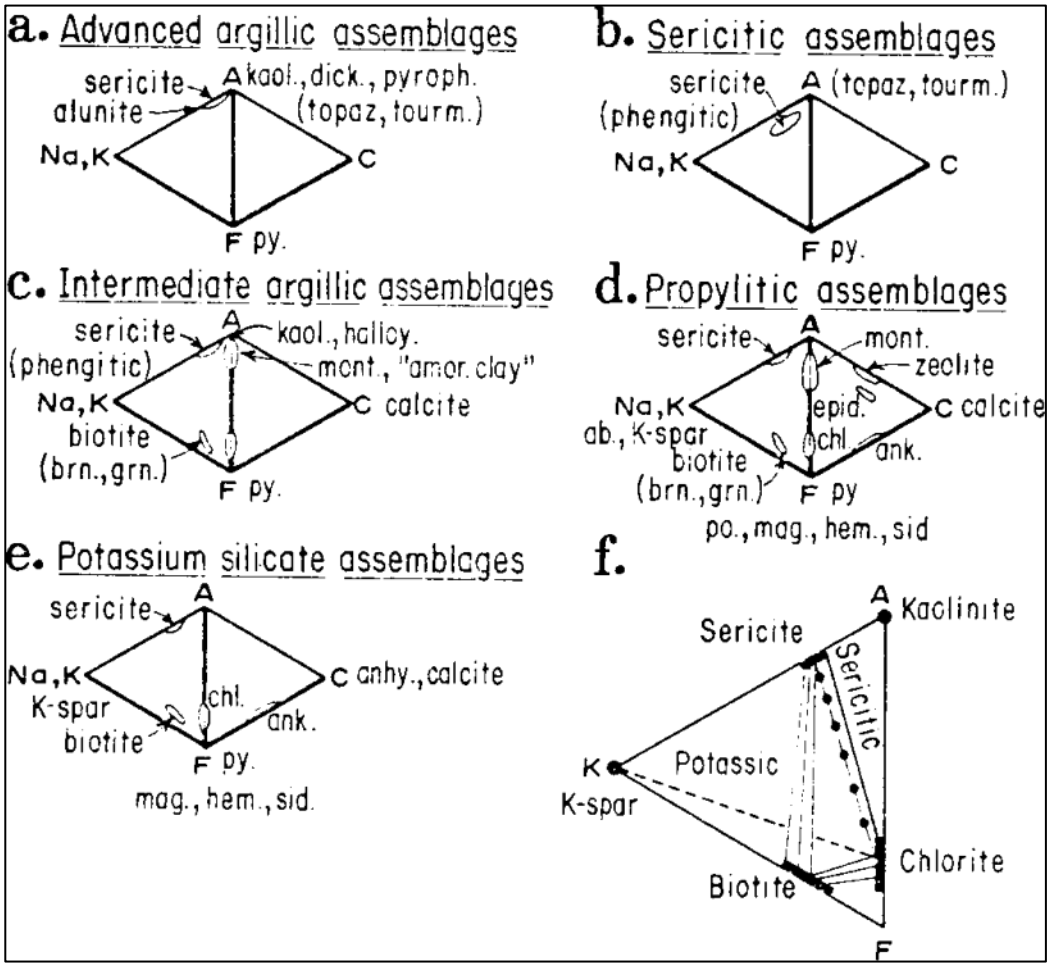


Figura 1 Asociaciones minerales de alteración Asociaciones minerales de ocurrencia común en los principales tipos de alteración en rocas alumino-silicatadas; el cuarzo usualmente está presente en todas (basado en Meyer y Hemley, 1967).

A altas temperaturas se presenta andalucita en alteración argílica avanzada. Puntos entre sericita y clorita indican separación de tipos (Rose & Burt, 1979)

Meyer y Hemley (1967) clasificaron la alteración hidrotermal en los tipos: propilítica, argílica intermedia, argílica avanzada, sericítica (Fílica) y potásica

Propilítica: Presencia de epidota y/o clorita y ausencia de un apreciable metasomatismo catiónico o lixiviación de alcalis o tierras alcalinas; H_2O, CO_2 y S pueden agregarse a la roca y comúnmente se presentan también albita, calcita y pirita. Este tipo de alteración representa un grado bajo de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal.

Argílica Intermedia: Importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, smectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o también argilizado. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas. La alteración argílica intermedia representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica.

Sericítica o cuarzo-sericítica: Ambos feldespatos (plagioclasas y feldespato potásico) transformados a sericita y cuarzo, con cantidades menores de caolinita. Normalmente los minerales máficos también están completamente destruidos en este tipo de alteración.

Argílica avanzada: gran parte de los minerales de las rocas transformados a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo. Este tipo de alteración representa un ataque hidrolítico extremo de las rocas en que incluso se rompen los fuertes enlaces del aluminio en los silicatos originando sulfato de Al (alunita) y óxidos de Al (diásporo). En casos extremos la roca puede ser transformada a una masa de sílice oquerosa residual (“vuggy silica” en inglés).

Potásica: Alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y/o biotita. Esta alteración corresponde a un intercambio catiónico (cambio de base) con la adición de K a las rocas. A diferencia de las anteriores este tipo de alteración no implica hidrólisis y ocurre en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas (principalmente en el rango 350°-550°C. Por esta razón, frecuentemente se refiere a la alteración potásica como tardimagmática y se presenta en la porción central o núcleo de zonas alteradas ligadas al emplazamiento de plutones intrusivos.

Carten (1986) definó la alteración sódico-cálcica en las zonas de raíz del pórfido cuprífero Yerrington (Nevada, USA), la que se caracteriza por una asociación de actinolita, albita- oligoclasa-andesina, epidota, magnetita, clorita, cuarzo, escapolita. Esta alteración ocurre en la porción profunda de pórfidos cupríferos y se desarrolla en forma simultánea con la alteración potásica a niveles más altos. En muchos estudios los minerales que la caracterizan la alteración sódico-cálcica se atribuían indistintamente a una alteración propilítica “de alta temperatura” y/o a alteración potásica.

Además, existe la alteración tipo skarn, la cual corresponde a la transformación de rocas carbonatadas (calizas, dolomitas) a minerales calcosilicatados en zonas adyacentes a intrusivos. Se caracteriza por la presencia de granates (andradita y grosularita), wollastonita, epidota, diópsido, idocrasa, clorita, actinolita. En los casos que los carbonatos son magnésicos (dolomitas) la asociación incluye: forsterita, serpentina, talco, tremolita, clorita. Skarn es un término de origen sueco para designar rocas calcáreas metamorfizadas, pero su uso se ha generalizado para depósitos

minerales relacionados a fenómenos de metamorfismo de contacto y metasomatismo ligados a intrusiones que cortan secuencias de rocas carbonatadas. Es un tipo especial de alteración en la que la litología original es determinante en la asociación mineral resultante.

La alteración tipo greissen caracterizada por la asociación: muscovita, feldespato, cuarzo, topacio y/o turmalina. Se asocia a facies neumatolíticas de rocas graníticas y ocurre a temperaturas mayores de 250°C, generalmente en las porciones apicales o cúpulas de batolitos graníticos, donde se atribuye a la acumulación de volátiles proveniente del magma o por incorporación de fluidos provenientes de la deshidratación de las rocas intuidas.

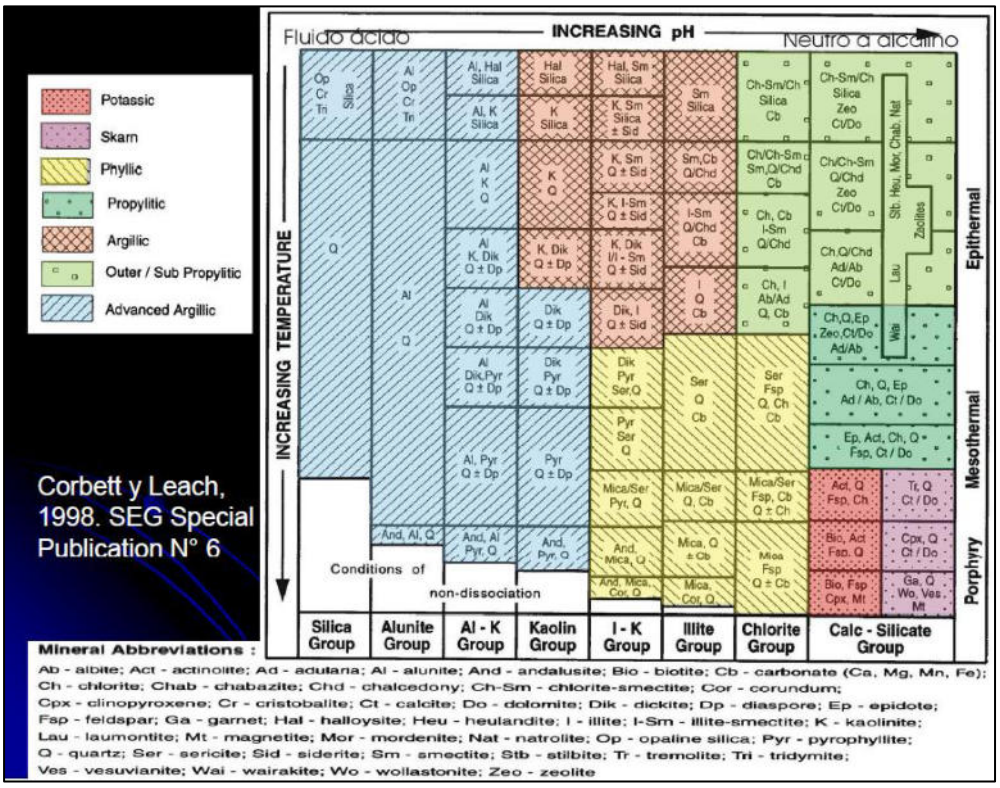


Figura 2, Asociaciones de minerales de alteración comunes en sistemas hidrotermales (Corbett, 1998)

Corbett y Leach (1998) publicaron un diagrama de clasificación de tipo de alteración hidrotermal en que se incluyen los principales tipos clásicos de tipos de alteración ordenados en función del pH del fluido y de la temperatura. Estos autores separaron además grupos caracterizados por ciertos minerales a saber:

Grupo de la Sílice: estos son los únicos minerales estables en forma significativa en fluidos de pH bajo (<pH 2; Stoffregen, 1987).

- Sílice opalina, cristobalita y tridimita ocurren en ambiente superficial de un sistema hidrotermal. Típicamente a tº<100ºC.
- Cuarzo es el mineral principal a mayores temperaturas.
- A pH más altos se forma sílice amorfa a tº<100ºC.
- El cuarzo está siempre presente prácticamente a >100ºC, pero se puede formar sílice amorfa de un fluido a 200ºC si este se enfría rápidamente.
- Calcedonia generalmente se forma en el rango 100º-200ºC

Grupo de la Alunita: Un fluido con un pH ligeramente superior a 2, forma alunita en un amplio rango de tº (Stoffregen, 1987). Esta se presenta con andalusita a altas tº (típicamente >350º-400º) y con corindón a temperaturas aún mayores (>400-450ºC).

Se han reconocido 4 ambientes de formación de alunita (Rye et al., 1993) en base a datos isotópicos de S y O. La condición de formación de la alunita también puede inferirse por la forma cristalina, por el marco geológico y paragénesis mineralógica.

1. Alunita calentada por vapor (“steam-heated”) se desarrolla en ambientes superficiales por la oxidación de fluidos con gas H_2S, el cual deriva de un sistema hidrotermal en ebullición en profundidad. La alunita depositada de esta agua calentada por vapor es usualmente de grano muy fino en cristales pseudo-cúbicos. La alunita calentada por vapor puede encontrarse hasta profundidades de 1 a 1.5 Km, en sistemas en los cuales aguas sulfatadas ácidas descienden en un sistema hidrotermal que se desvanece.
2. Alunita supergena se desarrolla a partir de la producción de ácido sulfúrico por meteorización de sulfuros. Esta exhibe un hábito pseudo-acicular pobremente cristalino. (generalmente se asocia a otros minerales supergenos como hematita y jarosita).
3. Alunita magmática se deriva de fluidos de fuente dominantemente magmática y forma cristales bien formados de grano grueso con forma tabular que rellenan fracturas, cementan brechas y depósitos en huecos lixiviados como pseudomorfos de fenocristales o clastos líticos. La alunita formada a mayor temperatura, donde puede estar entrecrecida con muscovita cristalina y/o andalusita, puede estar presente como grandes cristales irregulares que encierran poikilíticamente cuarzo y otras fases, o como cristales euhedrales pseudo- rómbicos.
4. Alunita de veta/brecha magmática: la alunita se presenta en vetas y brechas que se ha inferido que se han depositado directamente de fluidos ricos en volátiles, los cuales ascienden desde una masa

fundida en cristalización. En este ambiente la alunita puede estar presente como cristales prismáticos radiales.

Grupo del caolín: estos minerales derivan de la acción de fluidos de pH moderadamente bajo (aprox. pH 4) y coexisten con alunita en un rango de pH transicional (pH 3-4). La halloysita (arcilla del grupo del caolín) se presenta principalmente como producto de alteración supergena, aunque hay evidencias que se forma en condiciones hidrotermales de muy baja tº. En los sistemas geotermales filipinos se ha identificado una zonación de caolín hidrotermal. La caolinita se forma a profundidades someras en condiciones de baja tº (<150-200ºC), y pirofilita se forma a profundidades mayores y a mayor temperatura. En un rango intermedio entre ambos se forma dickita.

Localmente se encuentra diásporo con alunita y/o minerales del grupo del caolín, comúnmente en zonas de intensa silicificación, donde este se forma a expensas de pirofilita por la reacción:

Cuarzo + diásporo ← → pirofilita (Hemley et al., 1980)

Grupo de la Illita: En fluidos con un pH 4-6 dominan los minerales del grupo de la illita y coexisten con el grupo del caolín en pH del fluido 4-5, dependiendo de la temperatura y salinidad del fluido. Las relaciones profundidad/tº del grupo de la illita están bien documentadas tanto de cuencas sedimentarias como de campos geotermales activos. A baja tº se presenta smectita (<100-150º), illita-smectita interlaminada a alrededor de 100- 200ºC, illita a aprox. 200-250ºC, y muscovita >250ºC. La sericita es

una muscovita de grano fino que puede contener alguna illita y es transicional entre la illita y muscovita bien cristalizada.

El contenido de smectita dentro de las arcillas interlaminadas de illita-smectita decrece progresivamente al aumentar la temperatura sobre el rango 100-200ºC. La cristalinidad de la illita y sericita aumentan con el aumento de la tº y pueden monitorearse con análisis de XRD. Los cambios de cristalinidad de la muscovita también pueden ser monitoreados con XRD; al aumentar la tº hay un cambio progresivo desde una mica 1M desordenada a una muscovita bien cristalizada 2M. En algunos sistemas se presenta paragonita (cuando la plagioclasa es albita). La mica de vanadio roscoelita y la mica de cromo fuchsita se presentan cuando los fluidos han migrado a través de rocas máficas.

Grupo de la Clorita: en condiciones levemente ácidas a neutras de pH los minerales clorita-carbonatos son dominantes, coexistiendo con el grupo de la illita en ambientes cuyo pH es 5-6. Clorita-illita interlaminada ocurre a baja tº gradando a clorita a mayor tº.

Grupo de los Calco-silicatos: estos minerales se forman en condiciones de pH neutro a levemente alcalino. En condiciones frías se forma zeolitas-clorita-carbonato y epidota seguida de anfíbolas secundarias (princ. Actinolita) se desarrollan progresivamente a mayores temperaturas. Las zeolitas son particularmente sensitivas a la tº. Zeolitas hidratadas (natrolita, chabazita, mesolita, mordenita, stilbita, heulandita) predominan en condiciones frías (150-200ºC), mientras que las menos hidratadas como la laumontita (150- 200ºC) y wairakita (200-300ºC) se

presentan progresivamente en niveles más profundos y calientes del sistema hidrotermal. En algunos sistemas se encuentra prehnita y/o pumpellita a temperaturas de 250-300ºC, asociadas a veces con epidota.

La epidota se presenta como granos incipientes pobremente cristalinos alrededor de 180- 200ºC y como fases bien cristalizadas a temperaturas mayores (>220-250ºC). La actinolita es estable en sistemas hidrotermales a temperaturas >280-300ºC.

Los carbonatos se encuentran en un amplio rango de pH y de temperatura y se asocian con caolín, illita, clorita, y fases calco-silicatadas. Una zonación de minerales carbonatados que se correlaciona con el aumento de pH se encuentra en muchos sistemas hidrotermales. Carbonatos de Fe-Mn (siderita, rodocrosita) coexisten con caolín y arcillas del grupo de la illita, mientras que carbonatos de Ca-Mn-Mg-Fe mezclados (rodocrosita- ankerita- kutnahorita-dolomita) coexisten con arcillas del grupo de la illita y cloríticas, y los carbonatos de Ca-Mg (calcita-dolomita) coexisten con clorita-minerales calco-silicatados. Esta zonación se interpreta como el reflejo de la decreciente movilidad del Fe, Mn y Mg al aumentar progresivamente el pH del fluido. Los carbonatos se presentan típicamente en todos los niveles de sistemas hidrotermales, desde la superficie hasta ambientes de tipo pórfido o skarn.

Los feldespatos están asociados tanto con clorita como con minerales calco-silicatados. Los feldespatos secundarios son generalmente estables en condiciones de pH neutro o alcalino. La albita se presenta cuando los fluidos tienen una alta razón aNa+/aK+ y feldespato potásico a

bajas razones aNa+/aK+. Adularia se presenta como especie de feldespato secundario de baja tº en sistemas epitermales, mientras la ortoclasa en alta tº dentro de ambiente de tipo pórfido (>350 a 550ºC). La adularia se presenta en condiciones permeables de alto flujo de fluido y la albita bajo permeabilidad baja.

Los sulfatos se encuentran en amplios rangos de tº y regímenes de pH en sistemas hidrotermales. Mientras la alunita (sulfato de aluminio) se forma en condiciones de bajo pH (<3-4), la anhidrita (sulfato de calcio) se forma a pH más alto y tº >100-150ºC, y el yeso en ambientes más fríos. La jarosita es común como mineral supergeno, pero también se presenta en ambientes ácidos someros en sistemas geotérmicos activos.

Existen, además, varias fases minerales conteniendo elementos halógenos (Ej. Boro en turmalina y flúor, cloro y fósforo en apatitas), los cuales indican que los fluidos tuvieron una importante componente volátil magmática. Estos minerales comúnmente se asocian con sericita/mica formada a alta temperatura y bajo moderadamente bajo pH.

2.5. Alteración Hidrotermal en Mina Cuajone

Todos los cambios en la mineralogía, química, o en la composición textura de las rocas llevada a cabo por factores físicos o químicos esencialmente por soluciones hidrotermales, producen la Alteración Hidrotermal.

Los cambios en las paredes pueden ser físicos o químicos y se traducen en Remplazamientos o Recristalización de minerales. Incremento de agua, carbón dióxido u otros componentes minerales,

remoción de componentes químicos, incremento de permeabilidad y porosidad, cambios de color, textura o ratios isotópicos.

La alteración hidrotermal en Cuajone presenta un halo hasta de 4 km. de diámetro siendo más intensa mientras más cerca al cuerpo mineralizado nos encontramos teniendo variaciones internas mayormente relacionado al fracturamiento de la roca y alteración hidrotermal retrógrada, propiciando la alteración fílica y una alteración tardía de argílica.

2.5.1. Alteración Potásica

Ha sido reconocida por medio de taladros diamantinos principalmente en el sector Noroeste del cuerpo mineralizado.

En la Andesita Basáltica se caracteriza principalmente por la presencia de biotitas secundarias muy finas, magnetita, cloritas y ocasionalmente anhidrita. En la Latita Porfirítica del Sureste del cuerpo mineralizado se la ha podido determinar en profundidad en forma de venillas que contienen feldespato potásico, magnetita y biotita secundaria.

2.5.2. Alteración Propílica

Se encuentra mayormente en los márgenes del cuerpo mineralizado y abarca aproximadamente hasta 4 km. de diámetro.

2.5.3. Alteración Fílica

Resulta de un proceso retrógrado en el que las soluciones hidrotermales comienzan a enfriarse entre los 500 y 100 º C, Viene a ser la lixiviación del sodio, calcio y magnesio y el desarrollo de un metasomatismo potásico. El potasio es introducido

o derivado del feldespato que contiene la roca de composición ácida a intermedia remplazando a los feldespatos, especialmente plagioclasas y biotita, dando lugar a la formación de sericitas en hojuelas finas o variedades fibrosas de mica incolora conformando venillas o agregados densos o dispersos. La asociación característica es cuarzo, sericita y pirita y como accesorios se tiene a la clorita, illita y biotita secundaria.

El ensamble que presenta es epídota, calcita, pirita y clorita que ocurre principalmente en la Andesita Basáltica y en la Riolita Porfirítica.

La ocurrencia en Cuajone de este tipo de alteración se presenta principalmente en la Latita Porfirítica y en la Riolita Porfirítica y en menor proporción en la Andesita Basáltica. Abarca la mayor area de superficie de exposición actual en el tajo.

2.5.4. Alteración Fílica-Potásica

Determinada mayormente por taladros diamantinos, resulta de una sobreimposición de la alteración fílica sobre la alteración potásica.

Los principales constituyentes vienen a ser la sericita y el cuarzo, se presentan mayormente en venillas y en las cercanías de fracturas, la biotita de grano muy fino secundaria, magnetita y ocasional anhidrita.

La alteración potásica está asociada a enriquecimiento potásico, producto la alteración de feldespatos y biotitas secundarias, clorita y sericita.

Está presente en el intrusivo de dacita y brecha. Todas las rocas del basamento, rocas intrusivas han sido alteradas, a excepción de la dacita aglomerádica y diques de latita porfirítica.

Posee una mineralización simple siendo la distribución de leyes de cobre uniforme, tanto lateralmente como en profundidad. Los minerales económicos se encuentran en estado de sulfuros diseminados a través de toda la roca, en pequeñas venillas rellenan vacíos o en pequeños agregados.

Presenta una mineralogía compuesta por calcopirita ($CuFeS_2$ y calcosita (Cu_2S) como minerales de mena; molibdenita (MoS_2) como mineral de molibdeno y pirita (FeS_2) mineral de hierro no económico.

La zona de enriquecimiento secundario se encuentra en posición casi horizontal con espesores que varían de 0 a 150 m. En el nivel intermedio 3100 se ha localizado un tope de mineralización de yeso-anhidrita. La mineralización es del tipo mesotermal (entre 225°C - 475°C), según la clasificación de Lindgren.

2.5.5. Alteración Propílica Fílica

Aparece en los bordes de la alteración fílica en la que se tiene la presencia de sericita, cuarzo, cloritas y muy ocasionalmente

epídota. El contenido de pirita es alto, ha sido determinada mayormente en la Latita Porfirítica 2.

2.5.6. Alteración Argilica Fílica

La asociación característica es sílice, sericita, caolinita, como accesorio clorita, producto de una alteración tardía ha sido determinado mayormente en la Andesita Basaltica 1 en la parte alta y en profundidad en contacto con la Andesita Basaltica 2.

2.5.7. Alteración Supérgena

2.5.7.1. Alteración Argílica

La mineralogía representativa de este tipo de alteración está mayormente conformada por la presencia de caolinita, montmorillonita, illita y dickita.

Se presenta principalmente en las cercanías a superficie y en las zonas mineralógicas conformadas por la capa de material lixiviado, óxidos y sulfuros enriquecidos llegando a pasar hasta la zona transicional mayormente en rocas sumamente fracturadas, porosas y permeables.

No se descarta la posibilidad que parte de esta alteración, especialmente en profundidad, esté conformada por una alteración hidrotermal.

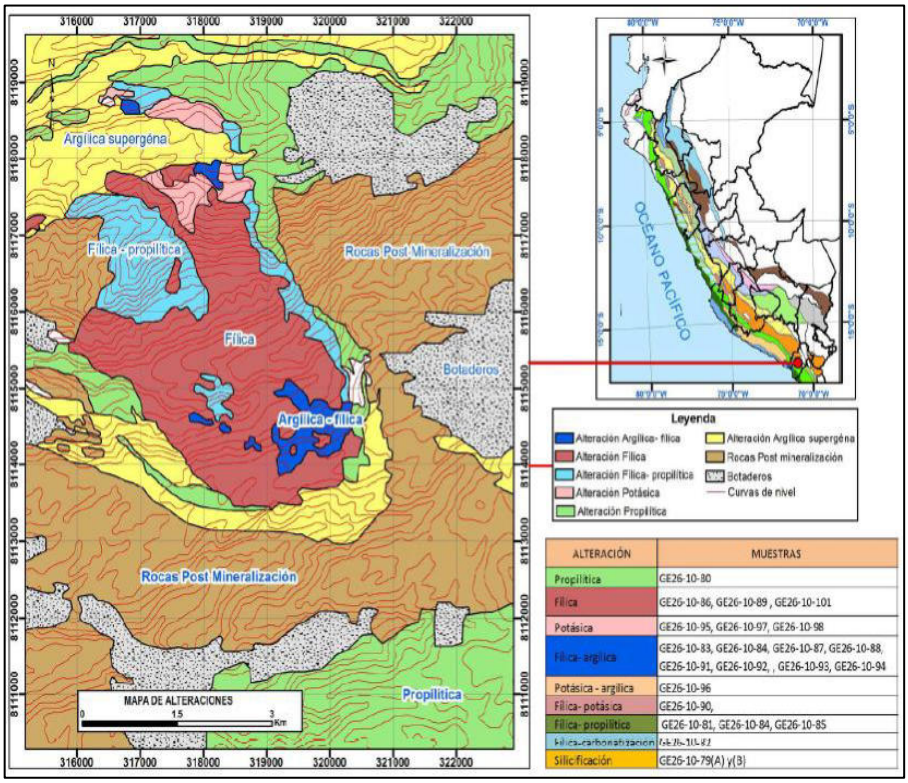


Figura 3.Mapa de alteraciones de las muestras del yacimiento minero Cuajone. (Fuente: (Gagliuffi & Vera, 2018) Ingemet.

2.6. OPERACIONES MINA

2.6.1. Perforación

La perforación de mallas de producción se hace con ayuda del Sistema JMineOps® (sistema de despacho), que transmite a la perforadora la malla de diseño a perforar, así con ayuda satelital la perforadora puede ubicarse en el taladro de diseño correcto.

Al término de la perforación del taladro, el operador debe dejar una estaca en el taladro indicando el número de Taladro y el número de proyecto, para que las personas encargadas de muestrear, primar, cargar y tapar dicho taladro, lo hagan identificando el número de taladro.

a. Mallas de Perforación

- Se trabaja con mallas triangulares equiláteras, que van desde 6.5 x 5.7 m hasta 11.5 x 10.0 m.
- En fase 6A, zona de mineral, se tienen mallas 6.5 x 5.7 m hasta 7.5 x 6.5 m y en proyectos de desmonte, se tienen mallas de 8.0 x 7.0 m
- Pre corte: El espaciamiento de las mallas de pre corte es de 2.0 m, lo define el área de geotecnia.

b. Diámetros de Perforación

Se trabaja con 2 diámetros de perforación:

- Diámetro de 12 1/4", las perforadoras con dicho diámetro se perforan todos los taladros de producción y buffer.
- Diámetro de 5", las perforadoras con dicho diámetro son las de Pre corte y secundarios.

c. Equipos de Perforación

Hasta el mes de febrero del 2018, se tiene un total de 05 perforadoras primarias.

Tabla 3.Lista de perforadoras primarias.

Modelo	Código SPCC
P&H 120A	D11
BUCYRUS 49 RIII	D13
BUCYRUS 49 HR	D14
P&H 320 XPC	D16
	D17

Lista de equipos de perforación de taladros de producción, modelo y código (Fuente: Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018)

2.6.2. Voladura

a. Mezcla Explosiva

La mezcla explosiva usada en cuajone es mezcla gasificada Quantex 73, la cual está compuesta en 70% de emulsión Slurrex G, 30% de nitrato Quantex (el cual contiene 3% de diésel) y 0.15% de nitrito del total de muestra.

También pueden darse las siguientes combinaciones de mezcla:

Mezcla gasificada Quantex 82: Contiene 80% de Emulsión Slurrex G y 20% de Nitrato Quantex, las proporciones de diésel se mantienen.

Mezcla gasificada Quantex 91: Contiene 90% de Emulsión Slurrex G y 10% de Nitrato Quantex, las proporciones de diésel se mantienen. Para cada viaje de carga de carga de mezclas se controla la densidad de la mezcla.

En la Tabla 4 se muestra las densidades iniciales de las distintas mezclas explosivas que se pueden formar.

Tabla 4.Lista de densidades de distinta proporción.

MEZCLA EXPLOSIVA GASIFICADA	DENSIDAD INICIAL(gr/cc)
Mezcla 70/30	1.37
Mezcla 75/25	1.36
Mezcla 80/20	1.35
Mezcla 90/10	1.34

Fuente: Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018

b. Densidad de Emulsión

Dado que las densidades de los productos de emulsión pueden variar ampliamente, se recomienda al especialista en voladura a cargo en consulte al fabricante para obtener información específica sobre la densidad del producto. La gasificación química crea burbujas de gas en la emulsión que no solo reducen la densidad, sino que aumentan la sensibilidad. Los efectos de expansión del volumen debido a la formación de gases que causan que su densidad disminuya se ilustran en la figura 4, donde se realiza una verificación de la densidad de la copa de campo.



Figura 4, Prueba de densidad de copa que muestra el efecto de esponjamiento por las burbujas. (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018)

La densidad de carga a granel de las emulsiones a granel estándar y aquellas con micro burbujas es constante en todo el pozo, mientras que la densidad de carga de las emulsiones con gases químicos varía como se ilustra en la figura 5. (ISEE, 2016)

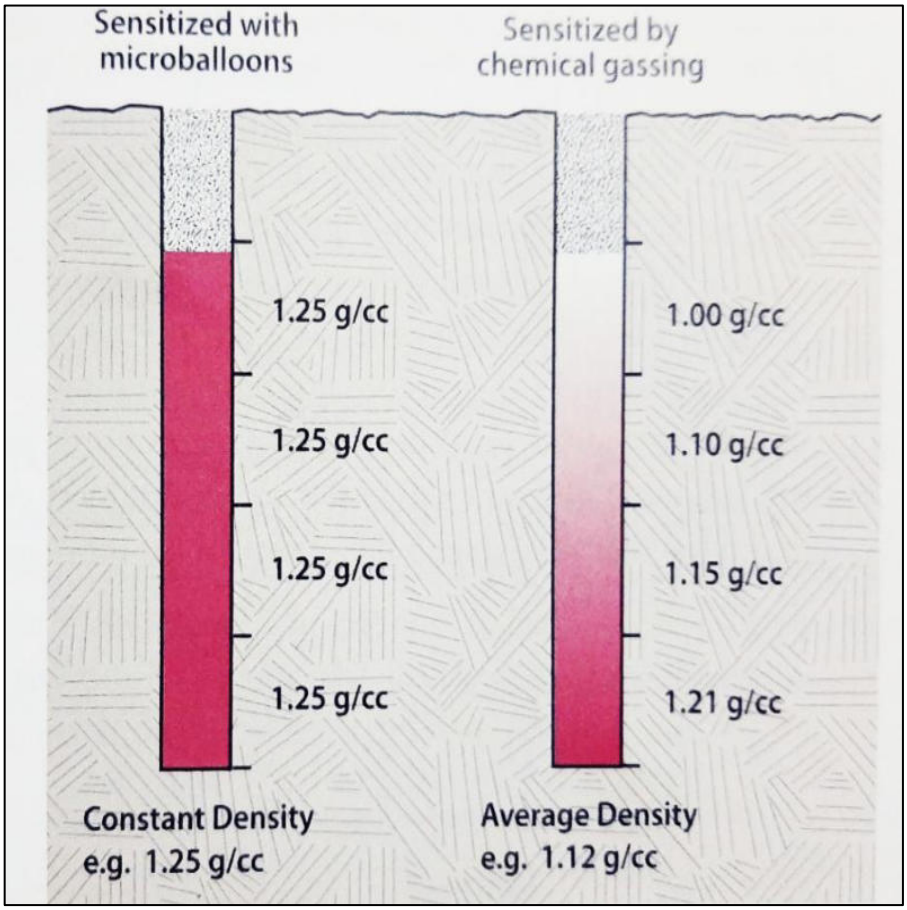


Figura 5, Ejemplo de comparación de densidad de carga de micro sensibilizador versus emulsión sensibilizada con gases químicos.((ISEE, 2016)

c. Diseño De Carga

En la fase 6A el diseño de carga se hace buscando el factor de potencia adecuado según las características del macizo rocoso, considerando además el esponjamiento de la mezcla explosiva, el espaciamiento de la malla y el diámetro de la perforadora, lo que termina variando y siendo una variable dependiente de las ya mencionadas es el taco.

Tabla 5. Factor de potencia en Fase 6A

Fase	Tipo de Roca	Factor de Potencia Teórico (Kg/Tm)
Fase 6A	IA-FIL-PTK	0.53
	LP-QS	0.54
	BL-FRES	0.48
	BA-PTK	0.54
	BX-BLP	0.69
	BA-FIL-PTK	0.47

Lista de factor de potencia por tipo de Roca en la fase 6A (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018)

Tabla 6. Parámetros de Carguío.

Fase	Roca	MEQ	Cantidad (Kg)	Carga (m)	Esponjamiento (m)	Taco (m)
6A	IA-FIL-PTK	80/20	1056	10.3	0.7	5
	LP-QS	75/25	1065	10.3	0.7	5
	BL-FRES	75/25	1064	10.3	0.7	5
	BA-PTK	75/25	1064	10.3	0.7	5
	BX-BLP	70/30	1176	11.3	0.7	4
	BA-FIL-PTK	75/25	1064	10.3	0.7	5

Lista de tipo de mezcla, cantidad de explosivo, carga, esponjamiento, aire y taco promedio por taladro. (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018)

d. Tiempos De Retardo

El amarre es una actividad realizada por personal de Orica, quienes en coordinación con el jefe de perforación y disparos definen los tiempos para cada disparo.

- Tiempo entre taladros: Varía de 10 a 17 ms.
- Tiempo entre filas: Varía de 100 a 200 ms.

e. Accesorios De Voladura

Los accesorios de voladura usados son:

- Booster de 2 Lb
- Nonel
- Detonador Electrónico
- Cable de conexión

2.6.3. Carguío

El proceso se desarrolla en cargar material volado en camiones para posteriormente transportarlo para su procesamiento en flotación, lixiviación o en depósitos de desmonte.

Tabla 7. Equipos de carguío.

Modelo	Código SPCC	Capacidad Nominal Tm
P&H 2800 XPB	P01	59
P&H 4100 A	P02	73
	P03	73
P&H 4100 XPC	P07	99
BUCYRUS 495 BII	P04	73
BUCYRUS 495 HR	P05	100
	P06	100

Lista de equipos de carguío en la mina Cuajone (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018)

2.6.4. Acarreo

Tabla 8, *Equipos de acarreo*

Modelo	Cantidad	Capacidad Nominal Tm
CAT 793 C y D	6	215
CAT 797 F	18	360
KOMATSU 830 E	10	225
KOMATSU 930 E	17	300
KOMATSU 980 E	4	360

Lista de flota de equipos de acarreo de la mina Cuajone (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018)

2.7. FRAGMENTACIÓN DE ROCAS

La fragmentación de rocas por voladura comprende a la acción de un explosivo y a la consecuente respuesta de la masa de roca circundante, involucrando factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros, en un rápido y complejo mecanismo de interacción. (EXSA, 2008)

2.8. VELOCIDAD DE EXCAVACIÓN

La velocidad de excavación o Dig Rate está definida como la ratio entre el tonelaje o payload y el tiempo de excavación relevante. La medida del tiempo de excavación es parte del ciclo, el cual es registrado en la base de datos de los sistemas de monitoreo de palas (Halatchev y Knights, 2007).

2.9. P80

La fragmentación medida en P80 (Pasante 80) es la representación de la distribución de tamaños menores a X valores de los fragmentos correspondientes al 80% del material total. Este valor se obtiene por medio del procesamiento digital de imágenes con software. Adicional al P80, existen otros parámetros como el P20 y P50 que también nos representan la distribución de tamaños; sin embargo, el P80 tiene una mejor correlación con parámetros de carguío (Brunton, 2003).

2.10. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Altura de Banco:** La distancia vertical desde la parte más alta de un banco al piso, o a la parte más alta del siguiente banco en un nivel inferior.
- **Banco:** Superficie horizontal desde donde se perforan taladros verticalmente hacia abajo en el material que se va a romper; el banqueo es un proceso de excavación donde se excava el talud mediante escalones o elevaciones.
- **Burden:** La distancia desde un taladro a la cara libre más cercana; o la distancia entre taladros medida de manera perpendicular al espaciamiento. También, la cantidad total de material que se va a romper con un taladro dado, usualmente medido en yardas o toneladas cúbicas. (ISSE, 2008)
- **Carga Explosiva:** La cantidad de material explosivo utilizado en un taladro, túnel de voladura coyote o dispositivo explosivo. (ISSE, 2008)

- **Carguío:** La colocación de material explosivo en un taladro o contra el material que se va a romper. (ISSE, 2008)
- **Detonación:** Reacción explosiva que se traslada a través de un material explosivo a una velocidad mayor que la velocidad del sonido en dicho material. (ISSE, 2008)
- **Detonador:** Cualquier dispositivo que contenga un explosivo primario, o de iniciación, que se emplea para iniciar la detonación en otro material explosivo. Un detonador no puede contener más de 10 gramos de explosivos por peso, excluyendo las cargas de retardo o encendido. El término incluye, pero no se limita a: detonadores eléctricos del tipo instantáneo y de retardo, detonadores eléctricos para su uso con mecha de seguridad, conectores de retardo de cordón detonante y detonadores no eléctricos de retardo e instantáneos que emplean cordón detonante, manguerita o cualquier otro elemento que reemplace a los alambres del detonador. (ISSE, 2008)
- **Emulsión:** Material explosivo que contiene cantidades sustanciales de oxidantes disueltos en gotitas de agua, rodeadas de un combustible no miscible, o gotitas de un combustible no miscible rodeado de agua que contiene cantidades sustanciales de oxidantes. (ISSE, 2008)
- **Espaciamiento:** La distancia entre taladros. En la voladura de banco, la distancia se mide paralela a la cara libre y perpendicular al burden. (ISSE, 2008)

- **Explosión:** Reacción química que implica una expansión extremadamente rápida de gases, usualmente asociados con la liberación de calor. (ISSE, 2008)
- **Explosivo:** Cualquier compuesto químico, mezcla o dispositivo, cuyo propósito primario o común es el de funcionar a través de una explosión. (ISSE, 2008).
- **Fragmentación:** El rompimiento de una masa sólida en pedazos, por efecto de una voladura. (ISSE, 2008)
- **Fuente De Energía:** La fuente de energía utilizada para energizar circuitos de voladura, por ej. un explosor o una línea de alta tensión.
- **Geología:** Descripción de los tipos y configuraciones de roca en un área; la descripción suele incluir la inclinación y orientación, el tipo y extensión de roturas preexistentes en la roca, y la dureza y amplitud de la roca, pues todos estos factores afectan el diseño de la voladura.
- **Mezcla:** Una mezcla que consiste en una matriz de material explosivo a base de agua y nitrato de amonio o ANFO; una matriz oxidante a base de agua y nitrato de amonio o ANFO.
- **Perforación:** Agujero perforado en el material que se va romper con el propósito de contener una carga explosiva, también llamado TALADRO o BARRENO.
- **Periodo De Retardo:** Designación dada a un detonador de retardo para mostrar su tiempo de retardo absoluto o relativo en una serie dada.

- **Potencia Del Explosivo:** La cantidad de energía liberada por un explosivo al momento de la detonación, lo cual es una indicación de la capacidad del explosivo para realizar el trabajo.
- **Pre-Corte/ Pre Rotura:** Método de voladura de pared lisa en donde los cortes para el contorno final se crean disparando una fila de taladros antes de la iniciación del resto de taladros en la malla de voladura
- **Presión De Detonación:** La presión producida en la zona de reacción de un explosivo cuando éste detona.
- **Retardo:** Una pausa distintiva de tiempo predeterminado entre los impulsos de detonación o iniciación para permitir el disparo de cargas explosivas de manera separada.
- **Sensibilidad:** Medida de la habilidad de propagación de cartucho a cartucho de un explosivo, bajo ciertas condiciones de prueba. Se expresa como la distancia a través del aire a la que medio cartucho cebado (donante) detonará otro medio cartucho no cebado (receptor)
- **Voladura:** El disparo de materiales explosivos con el propósito de romper la roca u otro material, mover material, o generar ondas sísmicas

III. METODOLOGÍA

3.1 PROCEDIMIENTOS

3.1.1 Lugar de Ejecución

Yacimiento tipo pórfido de cobre en la región de Moquegua; mina superficial Cuajone de la Empresa Southern Perú Copper Corporation.

3.1.2 Tipo de investigación

La investigación es tipo cuantitativa con alcance descriptivo, (Fernandez & Baptista, 2010), define que “la investigación descriptiva se basa en describir un fenómeno: especificar propiedades, características y rasgos importantes”. Por ello en la presente investigación se recolecto datos de propiedades de roca y parámetros de voladura para posteriormente medir en valores numéricos de fragmentación y velocidad de excavación.

3.1.3 Diseño de Investigación

Diseño no experimental puesto que no se ha manipulado las variables, la información analizada fue de enero a febrero del 2018, en solo el turno día de la operación minera. Según (Fernandez & Baptista, 2010), es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no

experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

3.1.4 Nivel de Investigación

Investigación transversal descriptiva, porque se definirá como afecta el diseño de voladura en fragmentación y velocidad de excavación. Este tipo de nivel analiza datos de variables recopiladas en un periodo de tiempo sobre una población muestra o subconjunto predefinido (Fernandez & Baptista, 2010).

3.1.5 Operacionalización de Variables

Variable independiente

Parámetros de voladura

Indicadores

- Propiedades físico mecánicas de las rocas.
- Propiedades mineralógicas de las rocas.
- Diseño de Carga
- Factor de Potencia

Variable dependiente

Parámetros Post voladura.

Indicadores

- P80 de roca fragmentada.
- Velocidad de excavación

3.1.6 Población y/o Muestra de Estudio

La Población

La población en materia de esta investigación son las propiedades físico mecánicas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica y sus resultados de fragmentación y velocidad de excavación con un diseño de parámetros de voladura para el tipo de roca. La población es un conjunto de individuos de la misma clase, limitada por el estudio. Según (Tamayo, 1997) ¨La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población posee una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación¨

Muestra

Las muestras son variables a las que se harán seguimiento las cuales son la granulometría (P80) y la velocidad de excavación. (Tamayo, 1997), La muestra es la que puede determinar la problemática ya que les capaz de generar los datos con los cuales se identifican las fallas dentro del proceso.

3.1.7 Técnicas e Instrumentos Para la Recolección de Datos

La técnica empleada en esta investigación es el registro del P80 de los fragmentos a tiempo real de la base de datos obtenido del sistema Split-Online® de igual forma las velocidades de excavación datos obtenidos del sistema MineOps® de la pala 6 en la Fase 6A.

Otra técnica utilizada es la elaboración del diseño de carga de explosivo, los datos de propiedades físico-mecánicas y mineralógicas de las rocas se obtiene en la información de polígonos de minado.

3.1.8 Validación y Confiabilidad de los Instrumentos

El Sistema Split-Online® es confiable por que se basa en tomar muestras de 100 a 500 fotografías durante el día en el frente de minado de cada pala para luego realizar análisis emitiendo reportes de P80.

El Sistema MineOps® es un sistema de control de procesos que usa el GPS's en palas y volquetes, que registra el carguío registrando así el tonelaje y tiempo del proceso esto nos ayuda a calcular la velocidad de excavación.

3.1.9 Métodos y Técnicas Para la Presentación

3.1.9.1 Desarrollo de Diseños de Parámetros de Voladura en la fase 6A de la Mina Cuajone

Se identificó la localización de la roca Andesita Intrusiva con alteración hidrotermal tipo Fílica Potásica. en la Fase 6A lado norte del tajo de la mina cuajone.

3.1.9.2 Propiedades de la Roca Andesita Intrusiva Fílica Potásica

Para los diseños parámetros de voladura es importante conocer la clasificación y caracterización del macizo rocoso de la roca estudiada en la Fase 6A del tajo de la mina Cuajone.

Tabla 9, Propiedades físicas

Roca	Símbolo	Densidad Tm/m^3
Andesita Intrusiva Fílica Potásica	IA-FIL-PTK	2.72

Propiedades físicas de la roca Andesita Intrusiva con Alteración Hidrotermal Fílica Potásico (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018.)

Tabla 10. *Caracterización de roca.*

Parámetros	Indicador
Valoración de Masa Rocosa (RMR)	40
Rock Quality Designation (RQD %)	60
Resistencia a la Compresión (Mpa)	86.56
Densidad (Tm/m3)	2.72

Caracterización de la roca Andesita Intrusiva con Alteración Hidrotermal Fílica Potásica en la Fase 6A de la Mina Cuajone. (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018)

3.1.9.3 Parámetros Generales De Malla de la Roca IA-FIL-PTK

Tabla 11, *Parámetros Perforación*

Parámetros	Indicador	Und.
Altura de Banco	15	m
Sub Drilling	1	m
Diámetro de Taladro	12 1/4	Pulg
Espaciamiento	7.5	m
Burden	6.5	m
Malla	Triangular Equilatero	

Parámetros generales de perforación para bancos de 15 metros en zona de mineral en la roca Andesita Intrusiva con Alteración Hidrotermal Fílica Potásica (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018)

3.1.9.4 Diseño de parámetros de voladura

Se diseñó los parámetros de voladura carga de acuerdo a los parámetros de la malla de perforación y propiedades

físico-mecánicas y mineralogías de las rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica.

3.1.9.4.1 Caracterización de la Mezcla Explosiva Gasificada Quantex 75/25 y 80/20

Se usó dos tipos de MEQ en dos proyectos de voladura de la Fase 6A en rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica

Tabla 12, Parámetros de voladura

Parámetros	Indicador	Und.
tipo de MEQ	75/25	
Densidad inicial	1.36	g/cm3
Densidad Lineal	103.3	Kg/m
Densidad final de Vaso	1.15	g/cm3
Taco	5	m
Altura de esponjamiento	0.7	m
Altura de Carga Inicial	10.3	m
Carga total por taladro	1064	Kg
Factor de potencia	0.53	Kg/Tm

Parámetros de voladura para zona de mineral de roca Andesita Intrusiva con Alteración Hidrotermal Fílica Potásica (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018.)

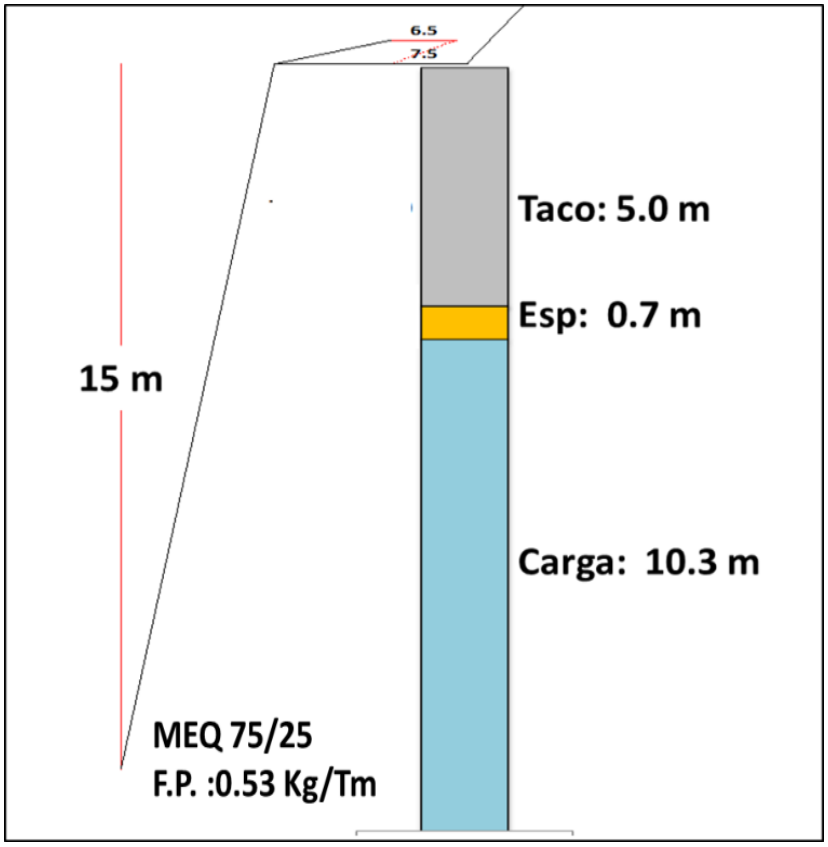


*Figura 6.*Diseño de carga para la zona de mineral con roca Andesita Intrusiva con Alteración Hidrotermal Fílica Potásica (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018.)

3.2 ANÁLISIS DE DATOS

3.2.1 Análisis Descriptivo

Para el contraste de la hipótesis, se realizó seguimiento al minado del material disparado en roca IA-FIL-PTK (andesita Intrusiva con alteración Hidrotermal Tipo Fílica Potasica) verificando el destino de material variables de P80, velocidad de excavación comparando por cada volquete minado Komatsu 930 E.

IV. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

Se evaluó un proyecto considerando sus diseños de perforación y voladura.

Tabla 13, *Parámetros de voladura ejecutado*

Parámetros	Indicador	Und
Proyecto de Voladura	3085-610	
Fecha de Disparo	03-01-18	
Densidad inicial	75/25	g/cm^3
Densidad Lineal inicial	103.3	Kg/m
Densidad final de Vaso	1.15	g/cm^3
Taco	5	m
Altura de esponjamiento	0.7	m
Altura de carga inicial	10.3	m
Carga total por taladro	1064	Kg
Factor de potencia	0.53	Kg/Tm

Parámetros de voladura para el proyecto de voladura 385-610 con material de mineral y roca Andesita Intrusiva con Alteración Hidrotermal Fílica Potásica (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares - Mina Cuajone, 2018)

4.1.1 Proyectos de Voladura

4.1.1.1 Proyecto 3085-810 (03-01-18)

N° de Taladros : 340 taladros (279 de producciónу 61 deBuffer).

Densidad Final : 1.15 g/cm^3

Tipo de roca : Andesita Intrusiva Fílica Potasica (IA-FIL-PTK)

y Latita Porfiritica Fresca (BLP-FRES)

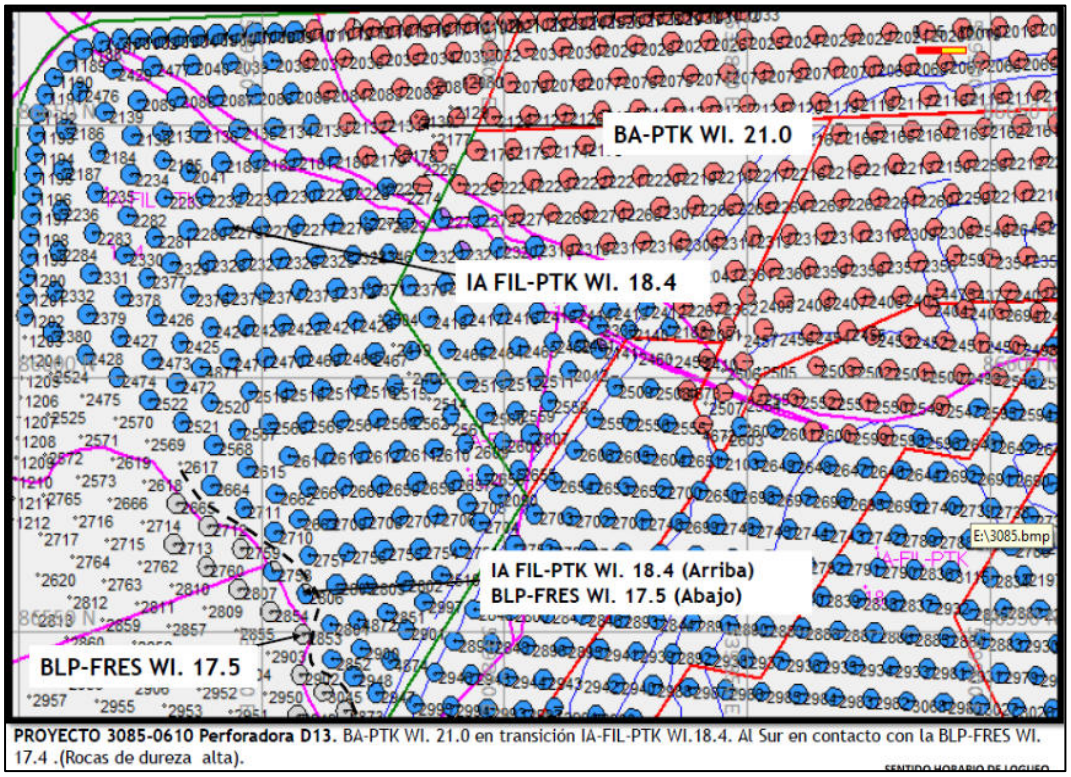


Figura 7. Logueo de Detritus del proyecto 3085-610. (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares-Mina Cuajone)

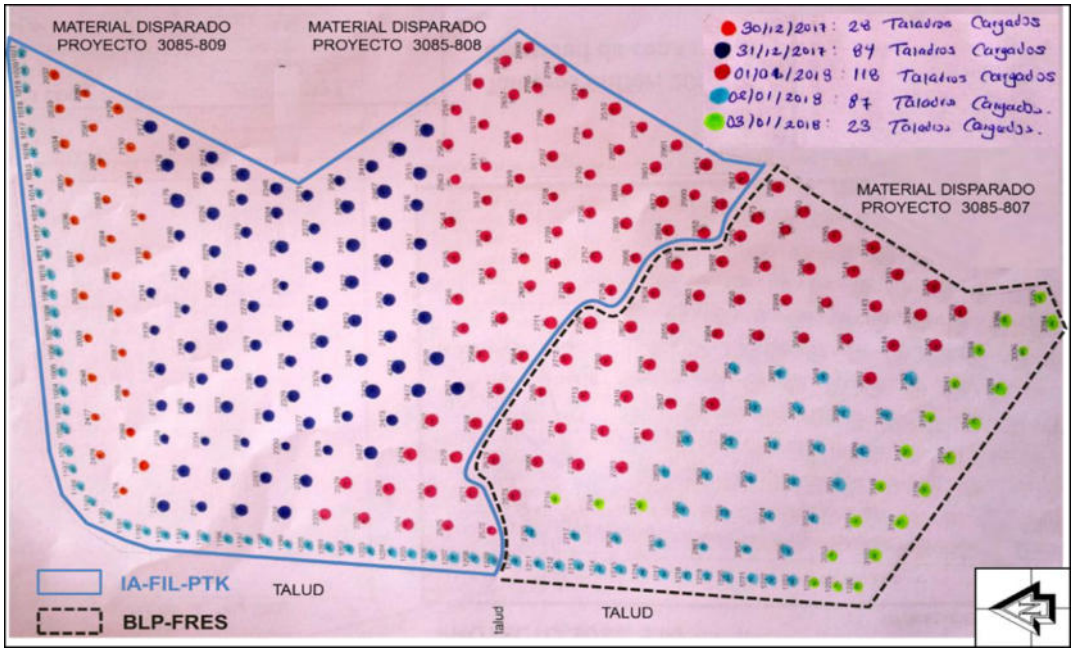


Figura 8. Detalle de carguío del proyecto 3085-610 (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares-Mina Cuajone)

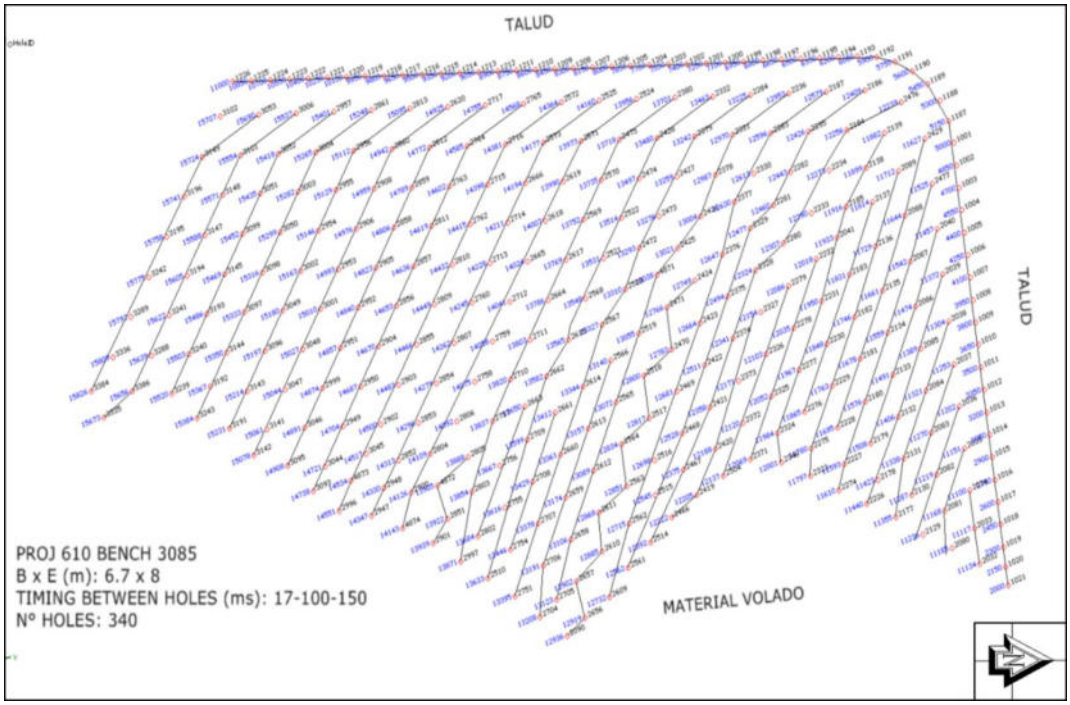


Figura 9. Secuencia de Salida del proyecto 3085-810. (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares-Mina Cuajone)

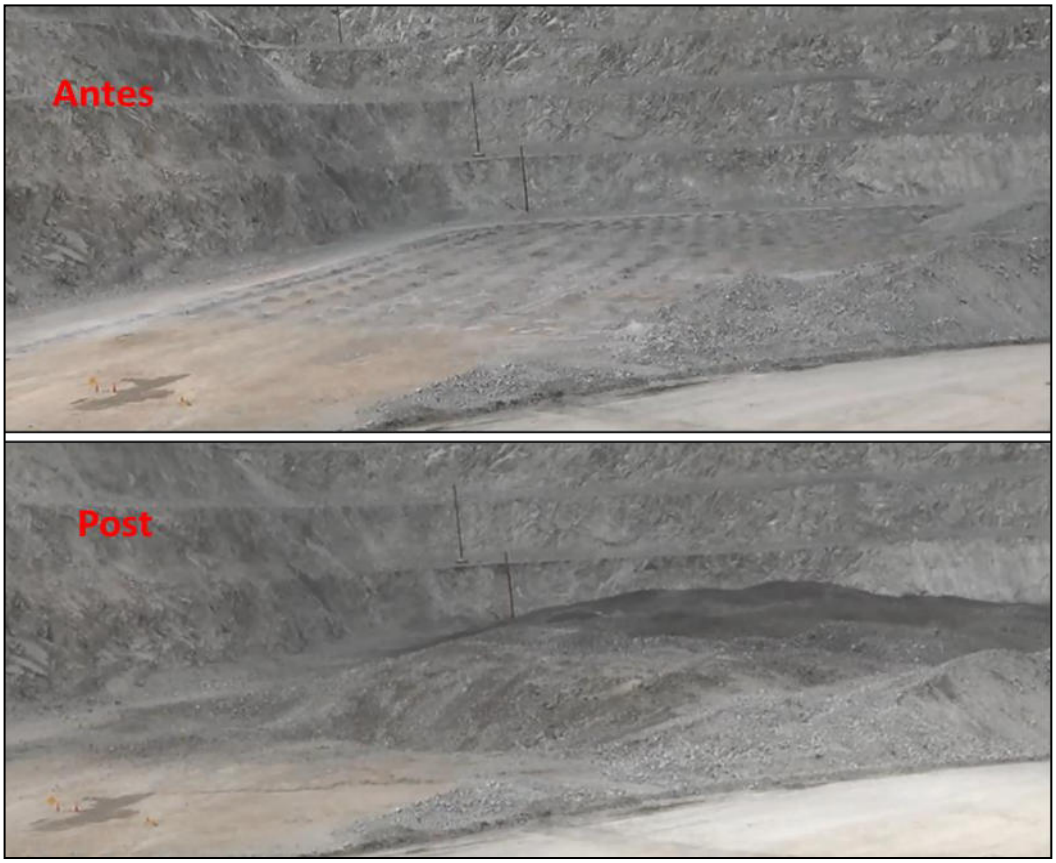


Figura 10. Imágenes de antes y post voladura de proyecto 3085-810. (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares-Mina Cuajone)

Observaciones

- El Proyecto 3085-610, en Fase 6B2, se inició a cargar el día 30 de diciembre 2017 y se disparó el 03 de enero 2018; en total 05 días cargados.
- Se cargaron 340 taladros en total (61 tal. De buffer + 279 tal. De prod.).
- El espaciamiento para este proyecto en IA-FIL-PTK es de 7.5 m, con un factor de potencia de 0.53 kg/tm y BLP-FRES es de 8 m, con un factor de potencia de 0.48 kg/tm.
- Se realizó el control de calidad en campo considerando densidad de copa promedio de 1.15 gr/cc en taladros de producción cuyo

esponjamiento fue de 0.7 m. y densidad de copa promedio de 1.00 gr/cc en taladros de buffer.

- Se ha usado mezcla 75/25 y en taladros con abundante agua 80/20.
- Generación puntual de gases nitrosos.
- La fragmentación superficial en IA-FIL-PTK es mejor que en BL-FRES; con esponjamiento aprox. de 5.0 m.

4.1.2 Polígonos de Minado

Tabla 14, Datos del polígono de minado.

Polígono de Minado	Roca	Densidad (TM/m^3)	Ley Cu (%)	Material
3085-656	IA-FIL-PTK	2.72	0.45	Mineral

Detalles del polígono de minado diseñado al interior del proyecto voladura 3085-810 disparado el 3 de enero del 2018 (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares-Mina Cuajone)

4.1.3 Equipos de Minado

Tabla 15, Datos de los equipos de carguío.

Condición	Equipo	Cantidad	Modelo	Capacidad Nominal (Tm)
Carguío	Pala	1	BUCYRUS 495 HR	100
Acarreo	Volquete	10	KOMATSU 930 E	305

Datos de la flota de equipos de carguío que se estudiaron el dia 31 de enero del 2018 en turno de la mañana (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares-Mina Cuajone)

4.1.4 Trazabilidad de proyecto de voladura disparado Vs Polígono de Minado el 31 de enero

Tabla 16, Datos de proyecto y polígono evaluados.

Fecha	Proyecto de Voladura	Polígono de Minado	Tipo de Material
31-ene	3085-610	3085-656	Mineral

Datos del proyecto de voladura y polígono de minado que se realizó el seguimiento de minado (Perforación, Disparos y Servicios Auxiliares-Mina Cuajone)

4.2 Comprobación de Hipótesis

4.2.1 Variable control de P80

4.2.1.1 Prueba de hipótesis en control de P80

Se trabajó con muestras representativas en el minado de polígonos con roca tipo Andesita Intrusiva Fílica potásica disparado con un factor de potencia de 0.53 Kg/Tm, en total 26 datos de P80 medido en pulgadas en la pala 06 con capacidad nominal de 100 Tm medidos desde las 6 am hasta la 1 pm del día 31 de enero.

La información de entrada se muestra en el anexo A, con lo cual se tiene resultados de estadística descriptiva usando el software Excel "Análisis de Datos".

Los resultados se muestran en las siguientes tablas y figura.

Tabla 17, Estadística descriptiva en roca IA-FIL-PTK pala 06.

Media	4.09
Error típico	0.51
Mediana	3.38
Moda	#N/A
Desviación estándar	2.59
Varianza de la muestra	6.73
Curtosis	4.32
Coeficiente de asimetría	1.95
Rango	11.30
Mínimo	1.44
Máximo	12.74
Suma	106.44
Cuenta	26.00

Resumen de resultados del cálculo con estadística descriptiva para los indicadores del P80 en el frente de minado de la Pala 06 (Elaboración propia)

De acuerdo a la tabla 17 se observa que la media de P80 es 4.09 Pulg. Estos datos se obtuvieron en el carguío de la pala 6 cuando la pala cargo solamente en volquetes KOMATSU 930 E en polígono de minado 3085-656 con IA-FIL-PTK.

Tabla 18, Datos de histograma de P80.

Clase	Frecuencia	% Frecuencia	% Acumulado
0	0	0%	0%
1	0	0%	0%
2	4	15%	15%
3	7	27%	42%
4	5	19%	62%
5	4	15%	77%
6	3	12%	88%
7	0	0%	88%
8	0	0%	88%
9	1	4%	92%
10	1	4%	96%
11	0	0%	96%
12	0	0%	96%
13	1	4%	100%
y mayor...	0	0%	100%

Datos de variables de histograma para el P80 resultante en *la roca Andesita Intrusiva con alteración Hidrotermal tipo Fílica Potásica en el frente de minado de la Pala 06* (Elaboración propia)

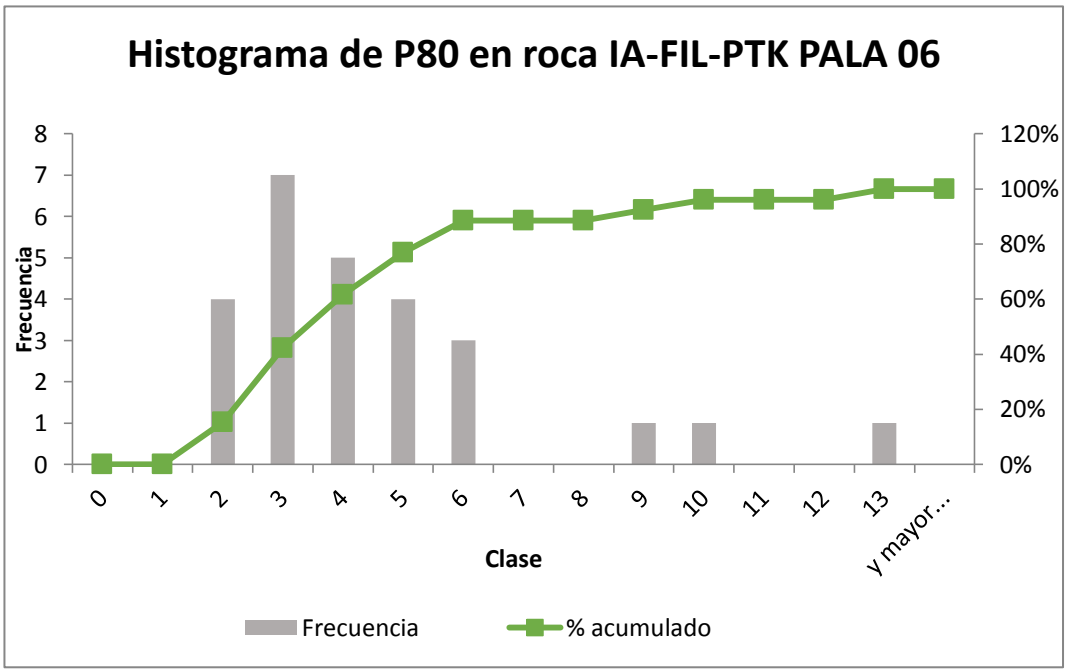


Figura 11.Histograma de P80 en roca IA-FIL-PTK pala 06. (Elaboración propia)

4.2.2 Variable Velocidad de Excavación

4.2.2.1 Prueba de hipótesis en velocidad de excavación

Se evaluó 26 datos de velocidad de excavación obtenido en el turno de la mañana de 6:00 am a 1:00 pm del día 31 de enero del 2018 de la pala 6 que cargo solo en volquetes KOMATSU 930 E en polígono de minado 3085-656 con IA-FIL-PTK.

Los datos se encuentran en el anexo B y los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 19, *Estadística descriptiva en roca IA-FIL-PTK pala 06.*

Media	9,469.29
Error típico	320.33
Mediana	9,591.17
Moda	10,093.46
Desviación estándar	1633.38
Varianza de la muestra	2’667,943.02
Curtosis	0.05
Coeficiente de asimetría	-0.36
Rango	6,592.40
Mínimo	5,744.68
Máximo	12,337.08
Suma	246,201.46
Cuenta	26.00

Resumen de resultados del cálculo con estadística descriptiva para la velocidad de excavación en el frente de minado de la Pala 06 (Elaboración propia)

De acuerdo a la tabla 19 se observa que la media de la velocidad de excavación es 9,469.29 Tm/h Estos datos se obtuvieron en el carguío de la pala 6 cuando la pala cargo solamente en volquetes KOMATSU 930 E en polígono de minado 3085-656 con IA-FIL-PTK.

Tabla 20, Datos de histograma de velocidad de excavación.

Clase	Frecuencia	% frecuencia	% acumulado
5,000.0	0	0%	0%
6,000.0	1	4%	4%
7,000.0	2	8%	12%
8,000.0	2	8%	19%
9,000.0	1	4%	23%
10,000.0	12	46%	69%
11,000.0	2	8%	77%
12,000.0	4	15%	92%
13,000.0	2	8%	100%
y mayor...	0	0%	100%

Datos de variables de histograma para la velocidad de excavación resultante en *la roca Andesita Intrusiva con alteración Hidrotermal tipo Fílica Potasica en el frente de minado de la Pala 06* (Elaboración propia)

En la tabla 20 se aprecia la distribución de frecuencia de los datos de velocidad de excavación para la pala 06, el cual está ordenado en intervalos de 1000 unidades.

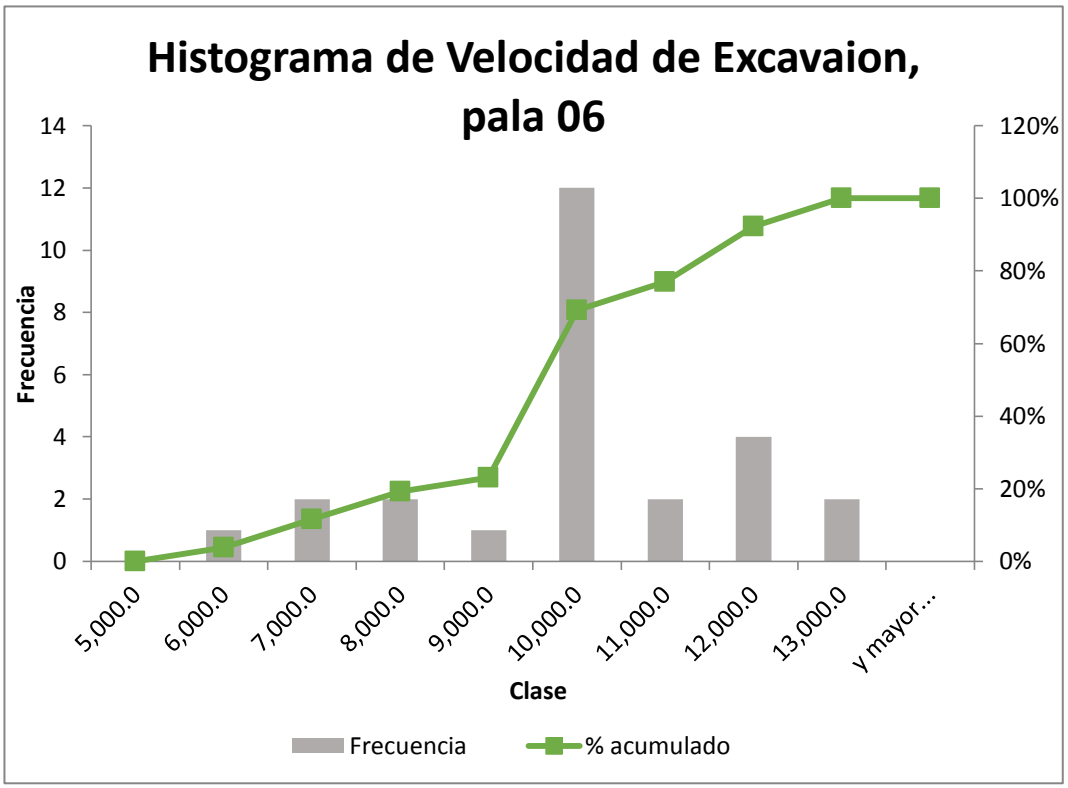


Figura 12- Histograma de velocidad de excavación en roca IA-FIL-PTK pala 06.(Elaboración propia)

4.2.3 Comprobación de Hipótesis

De acuerdo a la figura 13, podemos observar que ningún punto pasa los 11,000.00 Tm/h cuando se tiene cuando el material mayor a 7.5 Pulgadas del P80 de fragmentos disparados con un factor de potencia de 0.53 Kg/Tm cumple la hipótesis para la pala 6 que tiene una capacidad nominal de 56 m3 que cargo volquetes de 305 Tm. Asimismo se observa en el diagrama correlativo de dispersión XY de los datos de P80 y velocidad de excavación, se muestra una tendencia de disminución de la velocidad de excavación en relación que el P80 aumenta los 7.5 Pulgadas.

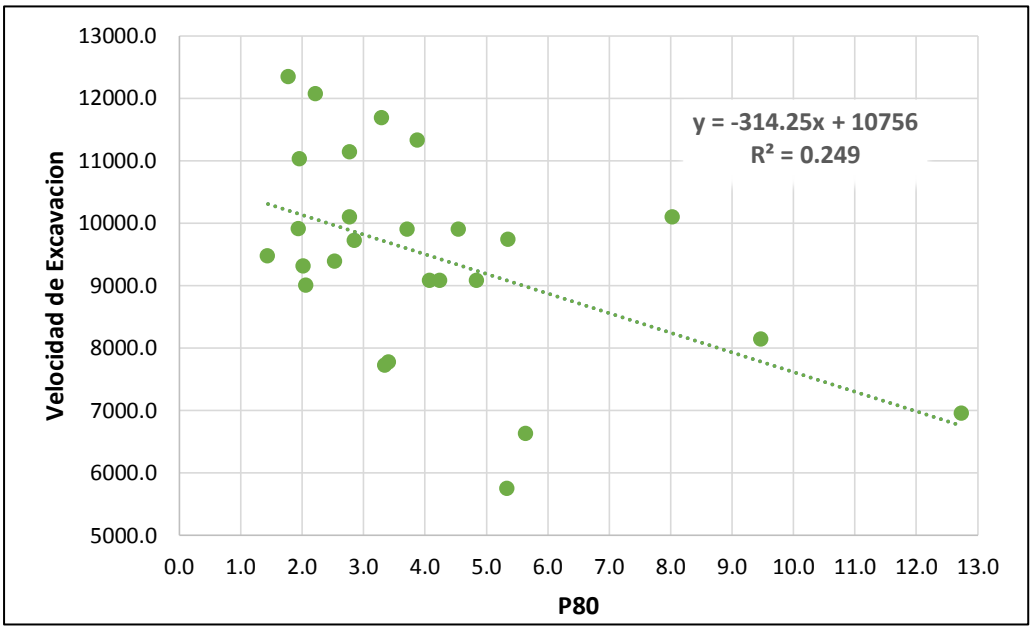


Figura 13. Diagrama de dispersión, P80 vs velocidad de excavación –pala 06 (Elaboración propia)

V. CONCLUSIONES

Según la hipótesis de la investigación, se concluye que se diseñó los parámetros de voladura en taladros de 12 ¼ de diámetro con una carga 1054 Kg de explosivo gasificado con relación de emulsión y nitrato a 75/25 de una densidad final de copa a 1.15 g/cc logrando alcanzar 11 m de altura de carga teniendo como taco final de 5 m un factor de potencia de 0.53 Kg/Tm, para fragmentar la roca con alteración hidrotermal tipo fílica potásica a fin de obtener fragmentos menores a 7.5 Pulg. Por su contenido mineralógico de valor económico se destinó el material hacia chancadora para su posterior procesamiento en planta.

Asimismo, según el objetivo específico primero: Controlar el P80 de fragmentos desde el criterio de una roca con alteración hidrotermal tipo fílica potásica. Se determinó que el promedio del P80 en el material disparado con el diseño de parámetros de voladura de 0.53 Kg/Tm como factor de potencia resultante, fue de 4.09 Pulgadas resultado que está por debajo del límite del target para mineral que es de 7.5 Pulgadas.

Del objetivo específico segundo: Definir el material como mineral por el contenido mineralógico en rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica. Se define que la roca con alteración hidrotermal tipo fílica potásica contiene mineral con valor económico por su formación con fluidos

hidrotermales mineralizantes compuesta por calcopirita (CuFeS2) y calcosita (Cu2S) como minerales de mena; molibdenita (MoS2) como mineral de molibdeno y pirita (FeS2) mineral de hierro no económico.

Y del objetivo específico tercero: Controlar la velocidad de excavación en operaciones de carguío en fragmentos de rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica. Se determinó que el promedio de la velocidad de excavación de la pala 06 con capacidad nominal de 56 m3 que cargo volquetes con una capacidad nominal de 305 Tm en el material disparado con el diseño de parámetros de voladura de 0.53 Kg/Tm como factor de potencia resultante, fue de 9,469.29 Tm/h. Asimismo se demostró que la velocidad de excavación de la pala 06 con capacidad nominal de 56 m3 que cargo volquetes con una capacidad nominal de 305 Tm, presenta una variación de menor a 10,000.00 Tm/h en fragmentos mayor a 7.5 Pulgadas

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda para la mejora del diseño de los parámetros de voladura, el personal técnico debe estas capacitado y entrenado para las mejoras que produce este modelo.

Para el control del P80 de fragmentos desde el criterio de una roca con alteración hidrotermal tipo fílica potásica, se recomienda desarrollar nomenclatura de polígonos de minado similares a la de los proyectos de voladura para realizar un mejor seguimiento de parámetros de P80 y velocidad de excavación.

El mineral por el contenido mineralógico en rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica, requiere de mantener el factor de potencia para obtener un p80 por debajo del targed de 7.5 Pulgadas.

Para controlar la velocidad de excavación, se recomienda seguir la guía de capacidades nominales en cada carguío a fin de no presentar variaciones de fragmentos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ale Veliz, J. (2012). *Influencia de la alteracion idrotermal en la calidad del macizo rocozo en taludes de tajos abiertos.* LIMA: Universidad Nacional de Ingenieria.

Bernabe Tapia, H. A. (2002). Geologia y Genesis de Cuajone. Lima: UNI.

Brunton , D., Thornton , R., Hodson, R., & Sprott , D. (2003). Impact of Blast Fragmentation on Hydraulic Excavator Dig Time. *Fifth Large Open Pit Mining Conference*, (págs. 39-48).

Burnham , C., & Ohmoto, H. (1980). Late-Stage Processes of Felsic Magmatism. *Geology Special Issue* , 8, 1-11.

Chirif Rivera, H. (2012). Alteraciones Hidrotermales. Intercade.

Choqueña Ccallata, J. (2009). Optimización de la fragmentación de la roca mediante las características geomecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos - u. m. APUMAYO S.A.C. Puno.

Corbett, G. y. (1998). Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems :Etructure, Alteration, and Mineralization. En G. y. Corbett, *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems :Etructure, Alteration, and Mineralization.* (pág. 237). Littleton: Society of Economic Geologist.

Cotrado Cahui, R. A. (2017). *Efecto Del Parametro De Fragmentación P80 En La Velocidad De Excavacion De Las Palas Electro-Mecanicas En Mina Cuajone.* PUNO: UNAP.

EXSA. (2008). *Manual Practico de Voladura.* Lima.

Fernandez, & Baptista. (2010). *Metodo de Investigacion.* Mexico: Mc Graw Hill.

Gagliuffi, P., & Vera, M. (2018). Caracterización petromineralógica de los yacimientos. *Boletín Serie B: Geología Económica N° 49 INGEMET*, 21-23.

Halatchev, R. a. (2007). Spatial variability of shovel dig performance. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 21(4), 244–261.

Hemley, J., & Jones, W. (1964). Chemical Aspects of Hydrothermal alteration with Emphasis on Hydrogen Metasomatism. *Economic Geology* , 64, 538-569.

ISEE. (2016). *The Blasters' Handbook 18th Edition.*

Machaca Manzano, J. G. (2015). Determinacion de la Fragmentacion Utilizando el Sistema Split Online en los Frentes de Minado de las Palas en la Unidad Minera Cuajone de la Empresa Southern Peru Copper Corporation Moquegua. 118-119.

Meyer , C., & Hemley, J. (1967). Gechemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Primera Edicion, Hubert L. Barnes . *Wall Rock Alteration En*, 166-235.

Rose, A., & Burt, D. (1979). *Hydrothermal alteration, in Barnes, H.L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits (2d ed.).* New York.

Tamayo. (1997). *Poblacion y Muestra*. Obtenido de https://www.clea.edu.mx/biblioteca/TamayoMario-ElProcesoDeLaInvestigacionCientifica.pdf

Torres, Z. (2015). *Diseño de tronaduras y su impacto en el costo mina de compañía minera cerro negro.* Santiago: Universidad de Chile.

VIII. ANEXOS

ANEXO A

fecha y hora	Factor de potencia (Kg/Tm)	P80 (Pulg)	Velocidad de Excavación (Tm/h)
2018/01/31 06:03:57	0.53	2.1	9000.0
2018/01/31 06:06:31	0.53	2.0	9305.1
2018/01/31 06:07:06	0.53	5.4	9729.7
2018/01/31 06:15:09	0.53	2.0	11020.4
2018/01/31 06:22:47	0.53	2.5	9384.6
2018/01/31 06:43:03	0.53	2.2	12065.9
2018/01/31 07:07:49	0.53	3.4	7714.3
2018/01/31 07:10:45	0.53	3.4	7769.8
2018/01/31 07:33:48	0.53	1.8	12337.1
2018/01/31 08:41:41	0.53	2.9	9716.8
2018/01/31 08:56:01	0.53	5.3	5744.7
2018/01/31 09:02:23	0.53	2.8	11134.0
2018/01/31 09:12:31	0.53	8.0	10093.5
2018/01/31 09:18:24	0.53	2.8	10093.5
2018/01/31 09:39:36	0.53	1.4	9465.5
2018/01/31 09:52:38	0.53	1.9	9908.3
2018/01/31 10:17:50	0.53	9.5	8133.3
2018/01/31 10:28:20	0.53	12.7	6949.4
2018/01/31 10:49:38	0.53	5.6	6625.8
2018/01/31 11:47:26	0.53	3.9	11319.6
2018/01/31 11:53:06	0.53	3.3	11680.9
2018/01/31 12:09:11	0.53	4.6	9891.9
2018/01/31 12:20:32	0.53	4.8	9074.4
2018/01/31 12:25:06	0.53	4.1	9075.6
2018/01/31 12:28:08	0.53	3.7	9891.9
2018/01/31 12:32:14	0.53	4.2	9075.6

Fuente: Base de datos *Split Online* – base de datos *MineOps* mina Cuajone.

ANEXO B

Fecha : 2019-09-02 06:27:17

DIARIO POR EQUIPO

Equipo: Pala 6

Fecha: 2018/01/31

Tonelaje	81,630.00
Ton/Hr	9,508.44

Fecha	P10IN	P20IN	P30IN	P40IN	P50IN	P60IN	P70IN	P80IN	P90IN	Poligono
2018/01/31 06:00:57	7.91121	12.241661	25.475779	40.331268	40.350727	40.358826	40.365475	40.372169	40.380581	3085-656/O
2018/01/31 06:03:57	0.126616	0.280114	0.460706	0.674663	0.933093	1.203809	1.528293	1.915256	2.999336	3085-656/O
2018/01/31 06:05:29	0.153491	0.339826	0.559052	0.818779	1.084932	1.366615	1.729828	2.22422	2.946492	3085-656/O
2018/01/31 06:06:31	0.129438	0.286386	0.471036	0.6898	0.954036	1.212398	1.555769	2.026902	2.748712	3085-656/O
2018/01/31 06:07:06	0.474327	1.004156	1.359395	1.778059	2.283606	2.958332	4.343959	5.3571	7.928253	3085-656/O
2018/01/31 06:11:04	1.055589	1.692364	2.854688	5.919027	7.06021	12.930367	17.442444	17.474712	17.488178	3085-656/O
2018/01/31 06:15:09	0.117729	0.26037	0.428189	0.627012	0.867162	1.173711	1.494789	1.966929	2.656785	3085-656/O
2018/01/31 06:17:25	0.244551	0.542146	0.892269	1.185678	1.380418	1.691922	2.005379	2.484871	3.021676	3085-656/O
2018/01/31 06:19:58	0.097174	0.21057	0.33152	0.45765	0.587779	0.721186	0.857381	1.066242	1.647655	3085-656/O
2018/01/31 06:21:05	0.195884	0.434017	0.714182	1.043297	1.278206	1.539934	1.845408	2.381811	3.313924	3085-656/O
2018/01/31 06:22:47	0.190193	0.421371	0.693355	1.00541	1.216656	1.498899	1.777117	2.221736	3.12947	3085-656/O
2018/01/31 06:23:40	0.196481	0.435343	0.716366	1.059218	1.379859	1.744051	2.159395	2.724454	3.502301	3085-656/O
2018/01/31 06:24:52	0.201687	0.438293	0.690658	0.953834	1.311146	1.711516	2.176949	2.662778	3.408817	3085-656/O
2018/01/31 06:25:59	0.203778	0.44285	0.697845	0.964654	1.262217	1.723166	2.291234	2.817776	3.85108	3085-656/O
2018/01/31 06:26:25	0.187946	0.408354	0.643442	0.8886	1.270413	1.686093	2.082781	2.674674	3.220211	3085-656/O
2018/01/31 06:26:58	0.203614	0.45119	0.742466	1.021579	1.277531	1.653972	2.242709	3.125062	3.871725	3085-656/O
2018/01/31 06:28:53	0.12224	0.265187	0.417654	0.576653	0.740692	0.908863	1.239302	1.741403	2.260837	3085-656/O
2018/01/31 06:30:13	0.28759	0.637771	0.999007	1.222335	1.483221	1.817426	2.220892	2.75341	4.104323	3085-656/O
2018/01/31 06:33:02	0.175646	0.381552	0.601172	0.830201	1.087511	1.417852	1.798363	2.229708	2.808106	3085-656/O
2018/01/31 06:36:52	0.118052	0.261089	0.429372	0.628746	0.869561	1.206325	1.518538	1.917807	2.618969	3085-656/O
2018/01/31 06:37:22	0.079393	0.175192	0.287902	0.421434	0.582722	0.783823	1.045884	1.315071	1.916705	3085-656/O
2018/01/31 06:37:51	0.16192	0.358554	0.589895	0.863977	1.090531	1.33622	1.586603	2.100406	2.650775	3085-656/O
2018/01/31 06:38:28	0.189363	0.419528	0.690319	1.025514	1.336228	1.639996	2.00567	2.80168	3.511362	3085-656/O
2018/01/31 06:39:46	0.222441	0.493021	0.811361	1.17996	1.508329	1.8511	2.365938	2.872389	5.24363	3085-656/O
2018/01/31 06:40:17	0.181377	0.401785	0.661097	0.967977	1.154342	1.376933	1.666657	2.098274	2.531359	3085-656/O

Fuente: Reporte *Split Online* – mina Cuajone.

ANEXO C

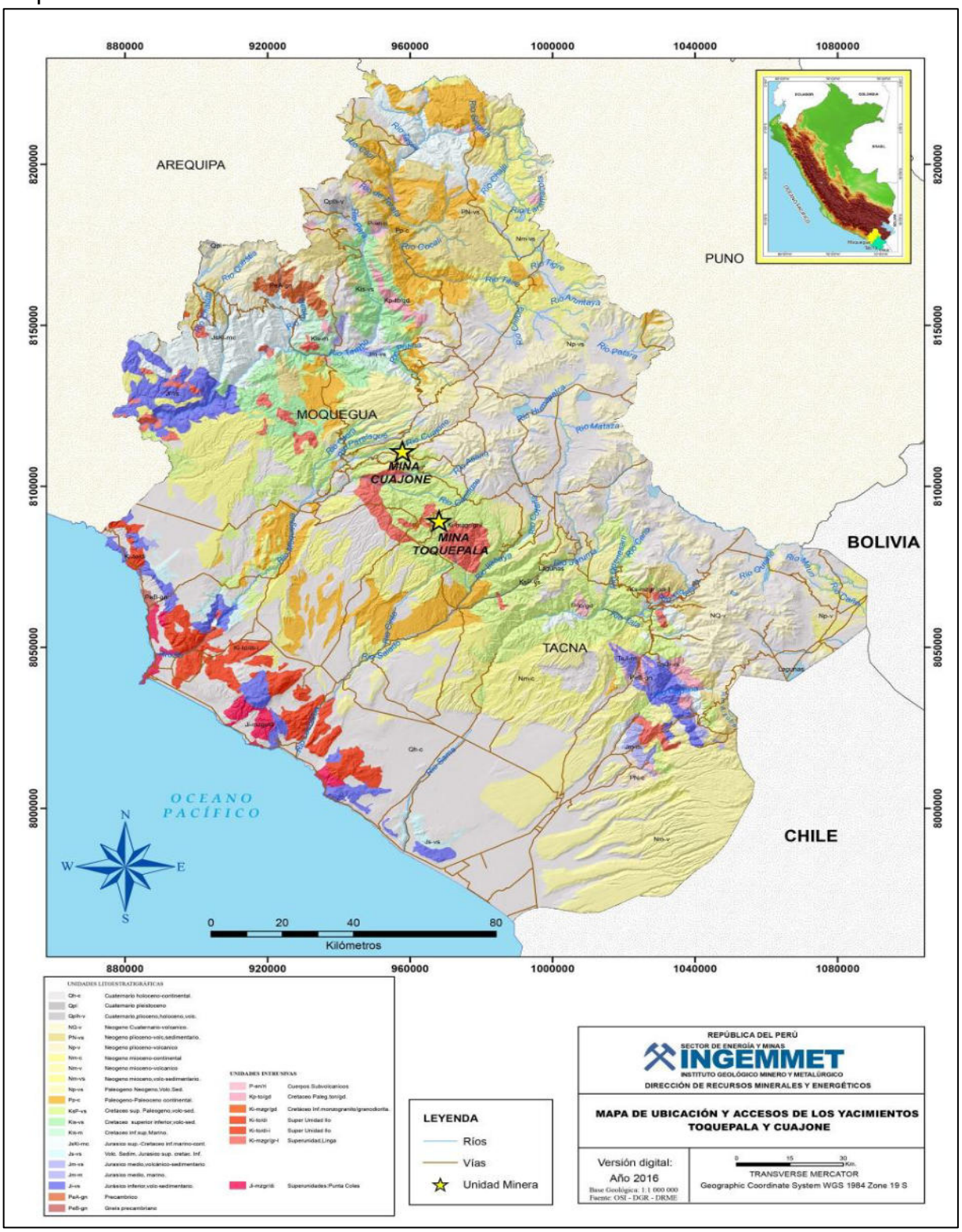
MATRIZ DE CONSISTENCIA LÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN.

TITULO: DISEÑO DE PARAMETROS DE VOLADURA EN ROCAS MINERALIZADAS CON ALTERACIONES HIDROTERMALES TIPO FÍLICA POTÁSICA EN YACIMIENTOS TIPO PORFIDO DE COBRE MINA CUAJONE - 2018

	Preguntas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Tipo de Investigación
General	¿Cómo diseñar parámetros de voladura en rocas mineralizadas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica evaluando las propiedades del macizo y matriz rocosa para mejorar los tiempos en operaciones en mina a tajo abierto de yacimiento tipo pórfido de cobre?	Diseñar parámetros de voladura en rocas mineralizadas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica evaluando las propiedades del macizo y matriz rocosa para mejorar los tiempos en operaciones en mina a tajo abierto de yacimiento tipo pórfido de cobre.	Diseñar parámetros de voladura en rocas mineralizadas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica evaluando las propiedades del macizo y matriz rocosa para mejorar los tiempos en operaciones en mina a tajo abierto de yacimiento tipo pórfido de cobre.	**Variable independiente** Parámetros de Voladura **Indicadores** 1. Propiedades físico mecánicas de las rocas. 2. Propiedades mineralógicas de las rocas. 3. Diseño de carga 4. Factor de potencia **Variable dependiente** Parámetros Post Voladura 1. P80 de roca fragmentada. 2. Velocidad de Excavacion.	Cuantitativo/ descriptivo **Diseño** No experimental **Nivel** Transversal descriptiva
especifico	1. ¿Se puede controlar el P80 de fragmentos teniendo el criterio de propiedades físico mecánicas de las rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica? **2.** ¿se puede definir como mineral por el contenido mineralógico en rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica? **3.** ¿se puede controlar la velocidad de excavación en fragmentos de rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica?	1. Controlar el el P80 de fragmentos desde el criterio de una roca con alteración hidrotermal tipo fílica potásica. 2. Definir el material como mineral por el contenido mineralógico en rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica. 3. Controlar la velocidad de excavación en operaciones de carguío en fragmentos de rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica.	1. Se puede controlar el P80 de fragmentos con conocimientos de propiedades de las rocas con alteración hidrotermal tipo fílica potásica. 2. Se puede definir cómo mineral a las rocas con alteración hidrotermal filico potásica. 3. se puede controlar la velocidad de excavación estándar con rocas fragmentadas adecuadamente.		

ANEXO D

Mapa de Ubicación



ANEXO E

Diseño de carga para Andesita Intrusiva con Alteración Hidrotermal Tipo Fílica Potásica en las fases 6a y fase 6b2.

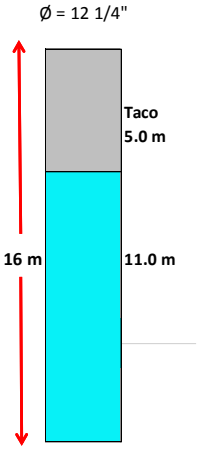
FASE 6 A

MALLA EN MINERAL 7.5m x 6.5m

IA-FIL-PTK

TIPO DE EXPLOSIVO	MEQ73
DENSIDAD FINAL	1.15
FACTOR DE POTENCIA	0.53
CARGA	1072 Kg

PRODUCCIÓN



MEQ73
DENSIDAD DE VASO 1.15g/cc

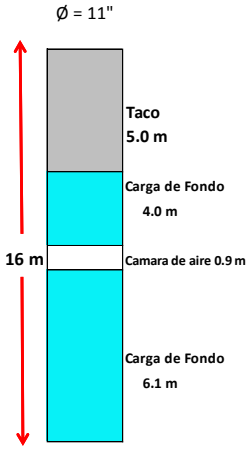
FASE 6B2

MALLA EN MINERAL 6.5m x 5.7m

IA-FIL-PTK

TIPO DE EXPLOSIVO	MEQ73
DENSIDAD FINAL	1.10 gr/cc
FACTOR DE POTENCIA	0.51
CARGA	750 Kg

PRODUCCIÓN



MEQ73
DENSIDAD DE VASO 1.10g/cc