UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL USO DE MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX SIN COMBUSTIBLE EN LA UNIDAD MINERA CUAJONE"

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. HUGO BANEGAS ANCO

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ

2018

009

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

FOLIO N° .....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Según Resolución.....COMISION ORGANIZADORA N° 1089-2018-UNAM.....

El Jurado Dictaminador ha calificado la defensa de la tesis:

TITULADA:

"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA Y ECONOMICA PARA EL USO DE MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX SIN COMBUSTIBLE EN LA UNIDAD MINERA CHAJONE"

Asesor:.....ING. ERNESTO CARCANO FLORES.....

Asesor Externo:.....

Tesista: .....BACH. HUGO BANEGAS ANCO.....

Dictamina como.....APROBADO.....por.....UNANIMIDAD.....

La defensa del tema de investigación con la nota: .....DIECISEIS..... (16)

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

Siendo las..12:30..horas, del....28.....de.....NOVIEMBRE.....del año..2018.....

se procede a firmar la presente.

Presidente del Jurado
ING. AGAPITO FLORES JUSTO

Primer Miembro
DR. MARCOS ZUÑIGA PINO

Segundo Miembro
ING. JAVIER PEÑALOZA ARANA

Tesista
Hugo Banegas Anco

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Wilber y Aurelia, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por los ejemplos de perseverancia y constancia, pero más que nada, por su amor. A mis hermanas, por estar conmigo y apoyarme siempre.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

Así mismo, nuestro agradecimiento a Southern Perú - Unidad Minera de Cuajone y a la empresa Exsa S.A., por habernos permitido realizar esta investigación, teniendo el total respaldo de sus colaboradores y poner todos sus recursos a nuestra disposición.

A la Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Moquegua, docentes y compañeros por los conocimientos impartidos dedicados a la formación de profesionales altamente competitivos, y con la satisfacción de haber aprendido mucho y con el compromiso de seguir aprendiendo en esta larga carrera de conocimientos en que nos encontramos.

RESUMEN

El presente trabajo denominado “Estudio de Factibilidad Técnica y Económica Para el Uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la Unidad Minera Cuajone”, tiene como objetivo analizar la viabilidad técnica y económica de la nueva
Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible a partir de las pruebas realizas en la Unidad minera de Cuajone.

Este nuevo producto es una mezcla de emulsión gasificable, nitrato de amonio de alta densidad sin combustible y solución gasificante. La principal ventaja y motivo de investigación es la eliminación de combustible de la Mezcla Explosiva Quantex Estándar con el objetivo de minimizar los costos en voladura.

Con este propósito, se diseñó un plan para determinar y cuantificar las posibles ventajas que presenta el nuevo producto a través de las pruebas in situ para medir sus parámetros antes, durante y después de la voladura. Estas pruebas son motivo del presente estudio.

El parámetro que se midió antes de la voladura fue la densidad, un aspecto crítico para determinar los costos y la calidad del explosivo. Durante la voladura, se midió la velocidad de detonación que es el mejor parámetro que representa la calidad del explosivo en cuanto a poder rompedor. Finalmente, post voladura se analizó la fragmentación del material, presencia de humos y la tasa de excavación de los equipos de minado.

Tras realizar las pruebas mencionadas, se hizo el análisis correspondiente y se determinó que el producto tiene ventajas desde el punto de vista económico. Se logró un ahorro importante de 6.94 $/tal por taladro cargado utilizando Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible y según el plan anual de consumo de agentes de voladura se proyecta un ahorro de 189,025.00 $ por año sin afectar la tasa de excavación de los equipos de minado.

ABSTRACT

The present work called "Study of Technical and Economic Feasibility for the Use of Quantex Explosive Mixture without Fuel in the Cuajone Mining Unit", aims to analyze the technical and economic viability of the new Quantex Explosive Mixture without Fuel from the tests performed in the Cuajone mining unit.

This new product is a mixture of gassed emulsion, high density ammonium nitrate without fuel and gasifying solution. The main advantage and reason for investigation is the elimination of fuel to the Quantex Standard Explosive Mixture in order to minimize blasting costs. This allows to vary its density and as a consequence to vary the speed of detonation, breaker power and other properties, depending on the characteristics of the material.

For this purpose, a plan was designed to determine and quantify the possible advantages of the new product through on-site tests to measure its parameters before, during and after blasting. These tests are the reason for the present study.

The parameter that was measured before the blasting was the density, a critical aspect to determine the costs and quality of the explosive. During the blasting, the detonation speed was measured, which is the best parameter that represents the quality of the explosive in terms of breaking power. Finally, post-blasting analyzed the fragmentation of the material, presence of fumes and the rate of excavation of the mining equipment.

After carrying out the mentioned tests, the corresponding analysis was made and it was determined that the product has advantages from the economic point of view. An important saving of 6.94 $ / tal per hole loaded using Quantex Explosive Blend without Fuel was achieved and according to the annual plan of consumption of blasting agents a saving of 189,025.00 $ per year is projected without affecting the mining excavation rate

CONTENIDO

DEDICATORIA II

AGRADECIMIENTO III

RESUMEN IV

ABSTRACT V

CONTENIDO VI

LISTA DE ABREVIATURAS XIV

INTRODUCCION 1

CAPITULO I 2

GENERALIDADES 2

1.1 RESEÑA HISTORICA 2

1.2 LUGAR DE INVESTIGACIÓN 3

1.2.1. Accesibilidad 3

1.2.2. Clima y vegetación 4

1.3 GEOLOGIA 4

1.3.1. Geología Regional 4

1.3.2. Geología Local 7

1.4 GEOTECNIA 8

1.4.1. Taludes del tajo 8

1.4.2. Sectores y ángulos de talud 9

1.5 INGENIERIA 9

1.5.1. Dimensiones y diseño del tajo 9

1.5.2. Diseño de vías de acarreo 9

1.5.3. Perfiles de acarreo 10

1.5.4. Zona de disposición de materiales 10

1.5.5. Fases de minado 10

1.6 COSTOS GENERALES 11

1.7 LEYES DE MINERAL 11

1.8 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MINADO 12

1.9 EQUIPOS DE MINADO 13

1.9.1. Perforación Primaria 13

1.9.2. Perforación de Pre-Corte 14

1.9.3. Voladura 14

1.9.4. Acarreo 14

1.9.5. Carguío 15

1.9.6. Control de la polución 15

CAPITULO II 16

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 16

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA 16

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 17
2.2.1 Interrogante General 17
2.2.2 Interrogantes Secundarias 17
2.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 17
2.4 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS 18
2.4.1 Objetivo General 18
2.4.2 Objetivos Específicos 18
2.5 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS 18
2.5.1 Hipótesis General 18
2.5.2 Hipótesis Específicas 18
CAPITULO IIII 19
MARCO TEÓRICO 19
3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 19
3.2 BASES TEÓRICAS 21
3.2.1. Explosivos 21
3.2.2. Clasificación de los explosivos 22
3.2.2.1. Explosivos químicos 22
3.2.2.2. Explosivos químicos 23
3.2.3. Agentes de Voladura 24
3.2.3.1. ANFO 24
3.2.3.2. Emulsiones 26
3.2.3.3. ANFO Pesado 27
3.2.4. Propiedades y características de los explosivos 29
3.2.4.1. Potencia Explosiva 30
3.2.4.2. Velocidad de Detonación (VOD) 30
3.2.4.3. Densidad 31
3.2.4.4. Presión de detonación 32
3.2.4.5. Resistencia al agua 33
3.2.4.6. Calidad de humos 34
3.2.4.7. Sensibilidad 35
3.2.4.8. Estabilidad química 35
3.2.4.9. Balance de oxigeno 36
3.2.5. Mezcla Explosiva Quantex (MEQ) Estándar 37
3.2.5.1. Nitrato de Amonio Quantex 38
3.2.5.2. Emulsión (Slurrex Q) 39
3.2.5.3. Solución gasificante (Nitrito de Sodio L-9) 39
3.2.6. Gasificación de la Mezcla Explosiva Quantex 40
3.2.7. Sensibilización de la emulsión 41
3.2.8. Beneficios de la Mezcla Explosiva Quantex 42
3.2.9. Factores que afectan al rendimiento de la voladura 43
3.3 MARCO CONCEPTUAL 45
CAPITULO IV 47
MARCO METODOLÓGICO 47

4.1 TIPO Y DISEÑO 47
4.1.1 Tipo de la Investigación 47
4.1.2 Diseño de la Investigación 47
4.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN 48
4.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES 48
4.3.1 Variable Independiente 48
4.3.2 Variable dependiente 48
4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA 50
4.4.1 Población 50
4.4.2 Muestra 50
4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS 50
4.5.1 Técnicas 50
4.5.1.1 Velocidad de detonación (VOD) 50
4.5.1.2 Densidad 51
4.5.1.3 Fragmentación 53
4.5.1.4 Velocidad de minado 53
4.5.1.5 Calidad de Humos 54
4.5.2 Instrumentos 56
4.6 VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS 56
4.7 MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATO59
4.7.1 Métodos 59
4.7.2 Técnicas de análisis de datos 59
4.7.2.1 Observación Directa 59
4.7.2.2 Análisis Estadístico 59
4.7.2.3 Análisis Descriptivo 60
4.7.2.4 Presentación 60
CAPITULO V 61
PRESENTACION Y NALISIS DE RESULTADOS 61
5.1. PRESENTACION DE RESULTADOS 61
5.1.1. Línea Base – Mezcla Explosiva Quantex Estándar 61
5.1.1.1. Densidad 61
5.1.1.2. Velocidad de Detonación 62
5.1.1.3. Fragmentación 62
5.1.1.4. Velocidad de Minado 66
5.1.1.5. Calidad de Humos 66
5.1.2. Resultados de Prueba – Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible 67
5.1.2.1. Densidad 67
5.1.2.2. Velocidad de Detonación 67
5.1.2.3. Fragmentación 70
5.1.2.4. Velocidad de Minado 74
5.1.2.5. Calidad de Humos 74

5.2. ANALISIS DE RESULTADOS 75
5.2.1. Velocidad de Detonación y Densidad 76
5.2.2. Fragmentación 77
5.2.3. Velocidad de Minado 78
5.2.4. Calidad de humos 79
5.2.5. Análisis Económico 80
CONCLUSIONES 83
RECOMENDACIONES 84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 85
ANEXO 87

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de mina Cuajone 3
Figura 2. Geología regional - Mina Cuajone 5
Figura 3. Geología Local - Mina Cuajone. 7
Figura 4. Vista en Sección del Modelo de Fases de Minado 2014-2018 11
Figura 5. Flujo de operaciones mina. 13
Figura 6. Muestra la perforación rotativa 13
Figura 7. Clasificación general de los explosivos industriales 23
Figura 8. Influencia del diámetro del taladro en la velocidad de detonación 25
Figura 9. Tipos de emulsión 27
Figura 10. Estructura del ANFO Pesado 28
Figura 11. Composición de la Mezcla Explosiva Quantex 37
Figura 12. Porcentajes de la composición de la Mezcla Explosiva Quantex 73. 38
Figura 13. Nitrato de Amonio Quantex 38
Figura 14. Emulsión Quantex 39
Figura 15. Nitrito de Sodio 39
Figura 16. Proceso de gasificación de la MEQ en un taladro 40
Figura 17. Proceso de gasificación de la MEQ 40
Figura 18. Sensibilización química por la generación de burbujas de Nitrógeno 41
Figura 19. Diseño de carga de taladros con MEQ 44
Figura 20. Diseño de Amarre de un Proyecto Cargado con MEQ 45
Figura 21. Método de medición de velocidad de detonación 51
Figura 22. Medición de densidad de MEQ 52
Figura 23. Cámaras Slip On Line en Pala y Chancadora 53
Figura 24. Calificación visual Gases Nitrosos 55
Figura 25. Certificado de calibración del MicroTrap 57
Figura 26. Certificado de calibración del Sismógrafo 57

Figura 27. Certificado de calibración del Viscosímetro 58

Figura 28. Certificado de calibración de la balanza electrónica 58

Figura 29. Registro de fragmentación mensual por palas de la MEQ Estándar 63

Figura 30. Registro de fragmentación mensual de la Pala 01 - MEQ Estándar ..64

Figura 31. Registro de fragmentación mensual de la Pala 06 - MEQ Estándar .. 64

Figura 32. Registro de fragmentación mensual de la Pala 03 - MEQ Estándar . 65

Figura 33. Registro de fragmentación mensual de la Pala 04 - MEQ Estándar . 65

Figura 34. Registro de fragmentación mensual de la Pala 05 - MEQ Estándar . 65

Figura 35. Registro de la velocidad de minado de las palas – MEQ Estándar .. 66

Figura 36. Generación de Humos Naranja Por Tipo de Roca 66

Figura 37. Registro de Velocidad de Detención MEQ73 sin Combustible 68

Figura 38. Registro de Velocidad de Detención MEQ75-25 sin Combustible 69

Figura 39. Registro de Velocidad de Detención MEQ82 sin Combustible 70

Figura 40. Registro de fragmentación mensual por palas de la MEQ sin Combustible 71

Figura 41. Registro de fragmentación de la Pala 01 – MEQ sin Combustible ... 71

Figura 42. Registro de fragmentación de la Pala 06 – MEQ sin Combustible ... 72

Figura 43. Registro de fragmentación de la Pala 03 – MEQ sin Combustible ... 72

Figura 44. Registro de fragmentación de la Pala 04 – MEQ sin Combustible ... 73

Figura 45. Registro de fragmentación de la Pala 04 – MEQ sin Combustible ... 73

Figura 46. Registro mensual de la velocidad de minado de las palas–MEQ sin Combustible 74

Figura 47. Registro de calidad de humos del mes de Julio por fases – MEQ sin Combustible 74

Figura 48. Registro de calidad de humos del mes de Agosto por fases – MEQ sin Combustible 75

Figura 49. Pruebas de Velocidad de Detonación con densidad final de 1.10 gr/cc – MEQ Estándar y Sin Combustible 76

Figura 50. Pruebas de Velocidad de Detonación con densidad final de 1.10 gr/cc – MEQ Estándar y Sin Combustible 77

Figura 51. Análisis de Fragmentación en Zona de Mineral – MEQ Estándar y Sin Combustible 78

Figura 52. Análisis de Fragmentación en Zona de Desmonte – MEQ Estándar y Sin Combustible ……..…… 78

Figura 53. Generación de Gases Nitrosos por Fases de Minado – MEQ Estándar y sin Combustible ……..79

Figura 54. Balance de Oxigeno de la MEQ Estándar Y Sin Combustible 79

Figura 55. Ahorro por taladro utilizando MEQ sin Combustible 81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Acceso a la Unidad Minera de Cuajone 4

Tabla 2. Características principales de diferentes mezclas de ANFO Pesado .. 29

Tabla 3. Velocidades de detonación para diferentes agentes de voladura. 31

Tabla 4. Densidades para diferentes agentes de voladura …..... 32

Tabla 5. Flujo de Nitrito de Sodio para gasificar la MEQ según el flujo de descarga de la mezcla explosiva 42

Tabla 6. Operacionalización de variables. 49

Tabla 7. Densidad Inicial y Final de la MEQ Estándar 62

Tabla 8. Velocidad de Detonación de la MEQ Estándar 62

Tabla 9. Fragmentación por Palas de la MEQ Estándar..... 63

Tabla 10. Densidad Inicial y Final de la MEQ sin Combustible 67

Tabla 11. Velocidad de Detonación de la MEQ sin Combustible..... 68

Tabla 12. Fragmentación por Palas de la MEQ sin Combustible 70

Tabla 13. Precio de los Agentes de Voladura 80

Tabla 14. Porcentaje de ahorro utilizando MEQ sin Combustible por taladro 81

Tabla 15. Proyección de ahorro anual utilizando MEQ sin Combustible 82

Tabla 16. Matriz de Consistencia 87

LISTA DE ABREVIATURAS

MEQ : Mezcla Explosiva Quantex

$/TM : Dólares por tonelada.

RBS : Potencia relativa por volumen.

ABS : Potencia absoluta por volumen.

AWS : Potencia absoluta por peso.

RWS : Potencia relativa por peso.

$: Dólares.

g/cc : Gramos por centímetro cúbico.

$/m : Dólares por metro lineal de carga

$/tal : Dólares por taladro cargado

PENT : Pentrita

INTRODUCCION

El proceso de voladura de rocas representa la más importante operación unitaria para la extracción de minerales, ya que es la primera y más económica para lograr la fragmentación de las rocas.

Para ello, hasta la actualidad se han desarrollado una gran variedad de mezclas explosivas y nuevos productos con el fin de mejorar los resultados de voladura, reducir la fragmentación y tener influencia en la optimización de las operaciones post voladura para disminuir sus costos.

En la actualidad más del 75% de minas en el Perú, principalmente superficiales, vienen usando Mezcla Explosiva QUANTEX (MEQ) como agente explosivo, ya que por sus características de sensitividad y homogeneidad puede llegar a obtener una mayor velocidad de onda de detonación (VOD) que el tradicional ANFO o ANFO pesado; y esto ha representado óptimos resultados en la fragmentación del mineral.

Estudios realizados tanto en laboratorio como en otras operaciones mineras, han demostrado que la emulsión gasificable (como componente de la Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible) tiene ventajas frente a la emulsión matriz (no gasificable).

En el área de Perforación y Voladura de la Unidad Minera de Cuajone, se busca hacer todas las mejoras posibles, logrando reducir costos o mejorar los procesos operativos, sin alterar la productividad de los equipos de minado.

Para ello, se formó un equipo de investigación con el objetivo de determinar las ventajas técnicas y económicas que podría ofrecer la Mezcla Explosiva Quantex sin combustible en comparación con la Mezcla Explosiva Quantex Estándar que tiene 3% de combustible y evaluar su implementación en la operación minera.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 RESEÑA HISTORICA

La historia de Cuajone comienza a principios de 1937, cuando la Corporación Cerro de Pasco, al explorar la zona la reconoce como un yacimiento de pórfido cuprífero, de allí en adelante (1942-1945) se haría una exploración con perforación diamantina, luego Newmont y Asarco realizarían una campaña de prospección geofísica, prospección geoquímica, perforación diamantina y también pruebas metalúrgicas.

En 1954 se formaría Southern Perú Copper Corporation (SPCC), y al año siguiente (1955) realizarían el cálculo de reservas y la descripción geológica. Ya entre 1970-1975, se realizaría la etapa de construcción de: vías de acceso, electricidad, suministro de Agua, desbroce y preparación de la mina, así también comenzaría la construcción de la planta concentradora, centros urbanos, hospitales, centros educativos, oficinas, talleres, etc.

El 25 de noviembre 1976 comenzaría la producción en la mina, y para el año 1980 se iniciaría la construcción de la planta de molibdeno. En 1995 se inicia la lixiviación, y en 1998 se amplía a 87100 TM/día del tratamiento de mineral.

En1999 Southern México asume la administración de Cuajone y se convierte en el tercer mayor productor de Cobre a nivel mundial la cual se mantiene hasta la actualidad.

1.2 LUGAR DE INVESTIGACIÓN

La Unidad Minera de Cuajone se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes al sur del Perú, a 45 km del Departamento de Moquegua, Provincia Mariscal Nieto, Distrito de Torata entre 3150 y 3850 metros sobre el nivel del mar. Su superficie está limitada por las coordenadas WGS 84, UTM entre los siguientes vértices: 316000 a 320000 este, y 8110000 a 8120000 norte, ZONA 19 SUR, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Ubicación de mina Cuajone
Fuente: Información geológica de mina Cuajone

1.2.1. Accesibilidad

El acceso a la mina, es por vía terrestre por la Panamericana Sur, cruzando desde la zona fronteriza Tacna 80 km hasta Moquegua, luego por una vía de 43 km en dirección Sur- Oeste a Noreste hasta llegar a Cuajone. Otra alternativa es tomando la Panamericana, desde la capital Lima con un recorrido de 1140 Km

hasta la ciudad de Moquegua y de igual manera 43 km hacia Cuajone por medio de vías de primer orden (Chugá, 2017, p.8).

Tabla 1.
Acceso a la Unidad Minera de Cuajone

Recorrido	Distancia	Transporte
Moquegua – Desv. Torata	20 Km.	Vía Terrestre
Desv. Torata – Villa Botiflaca	25 Km.	Vía Terrestre

Fuente: Mina Cuajone, 2016

1.2.2. Clima y vegetación

Cuajone posee un clima seco, templado hasta frío intenso que varía de acuerdo a la altura de la mina, la vegetación es escasa dando lugar a la existencia de cactus y vegetación silvestre. La temperatura media de la mina es 4.1 °C en la que la mayor temperatura se evidencia en el mes de diciembre hasta febrero con un equivalente de 11.1 °C y descendiendo en los meses siguientes hasta Julio con un promedio de 7 ° C. De manera similar, las precipitaciones aumentan en los meses de noviembre a febrero a un promedio de 58 mm y su tiempo más seco es entre los meses mayo y junio (Chugá, 2017, p.8).

1.3 GEOLOGIA

1.3.1. Geología Regional

Geomorfológicamente se puede diferenciar: La Cordillera de la Costa, La Llanura Costanera, El Flanco Andino y la Cadena de Conos Volcánicos. Estas áreas geomorfológicas se encuentran emplazadas longitudinalmente de Sureste a Noroeste y se encuentran limitados mayormente por la Altitud, Relieve, el Clima y la Geología. (Concha y
Bernebé, 1999, p.40)

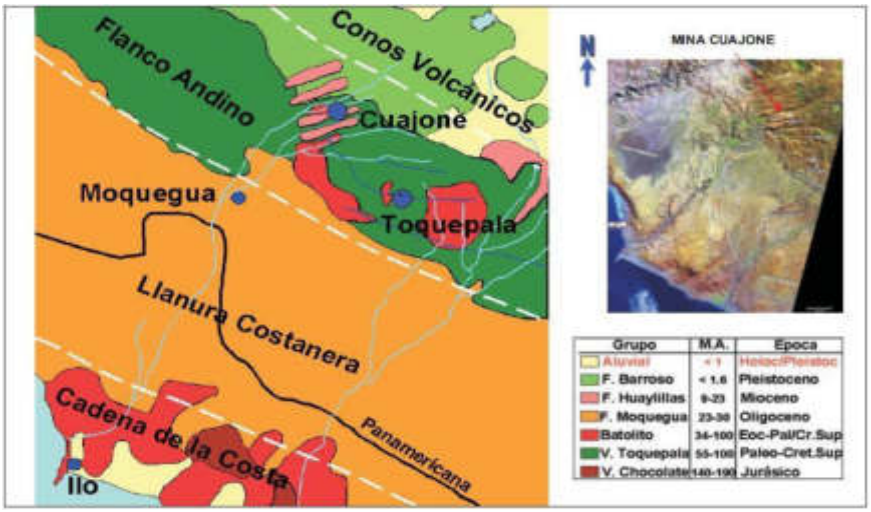


Figura 2. Geología regional - Mina Cuajone
Fuente: Geología y génesis de Cuajone

Formación Chocolate: Aflora principalmente en la Cordillera de la Costa y se presenta como una alternancia de derrames de brechas y tufos con capas de calizas marrones. Esta formación pertenece al
Liásico del Jurásico y está datado entre 190 y 150 Millones de Años (MA) de antigüedad. (Concha y Bernebé, 1999, p.40)

Grupo Toquepala: Se presenta como una alternancia potente de rocas mayormente volcánicas con intercalación de clásticos gruesos. En la base se tiene una secuencia de derrames, brechas de flujo y piroclásticos de composición andesítica, dacítica y riolítica de la formación Toquepala a la que se superpone discordantemente una secuencia intercalada de conglomerados y areniscas gruesas pertenecientes a la formación Inogoya. Luego, nuevamente se tiene la presencia discordante de derrames de dacitas, riolitas, andesitas, piroclásticos y conglomerados que pertenecen al Volcánico Paralaque. (Concha y Bernebé, 1999, p.40)

Formación Moquegua: Se depositó en la Depresión Tectónica formada entre los cerros de la Cadena Costanera y el pie del Frente Andino. Sobreyace discordantemente en forma parcial al

Grupo Toquepala y a los intrusivos de la Cadena Costanera y del Batolito del Sur del Perú. Las rocas continentales fueron erosionadas y depositadas formando arcillas, areniscas, conglomerados, areniscas tufáceas y tobas que vienen a constituir en gran parte lo que geomorfológicamente se denomina la Llanura Costanera con una topografía de relieve suavizado. (Concha y Bernebé, 1999, p.41)

Formación Huaylillas y Formación Chuntacala: Aflora principalmente en la ladera Sur-Sureste de la quebrada Chuntacala y en la ladera Norte del río Torata. Está constituida por una secuencia de conglomerados, tobas, vitrófiros, traquitas y aglomerados. (Concha y Bernebé, 1999, p.48)

Formación Capillune: Es una sucesión de Conglomerados, areniscas, arcillas y tufos que sobreyacen discordantemente a la Formación Huaylillas y Formación Chuntacala. Se les atribuye una edad Pliocénica Superior. Por la naturaleza de los sedimentos se ha determinado su depositación en un ambiente continental lacustre por medio de fuertes corrientes de corto recorrido. (Concha y Bernebé, 1999, p.41)

Formación Barroso: Serie de rocas y derrames volcánicos compuestos de andesitas, traquitas, y traquiandesitas intercaladas con brechas de flujo, piroclásticos y aglomerados. Conforman principalmente la Cadena de Conos Volcánicos o Cordillera Occidental de los Andes. Se le asigna una edad Terciario Superior-Cuaternario
(Plioceno-Pleistoceno). (Concha y Bernebé, 1999, p.41)

Depósitos Cuaternarios: Principalmente en los lechos de los ríos, quebradas y laderas de cerros; se han depositado morrenas, aluviales y coluviales de variada composición y tamaño. (Concha y Bernebé, 1999, p.41)

1.3.2. Geología Local

La litología que predomina en Cuajone está mayormente conformada por rocas volcánicas que se han ido depositando a través de los tiempos desde fines del Cretáceo hasta la actualidad. En el área no se tienen afloramientos de rocas de mayor antigüedad.

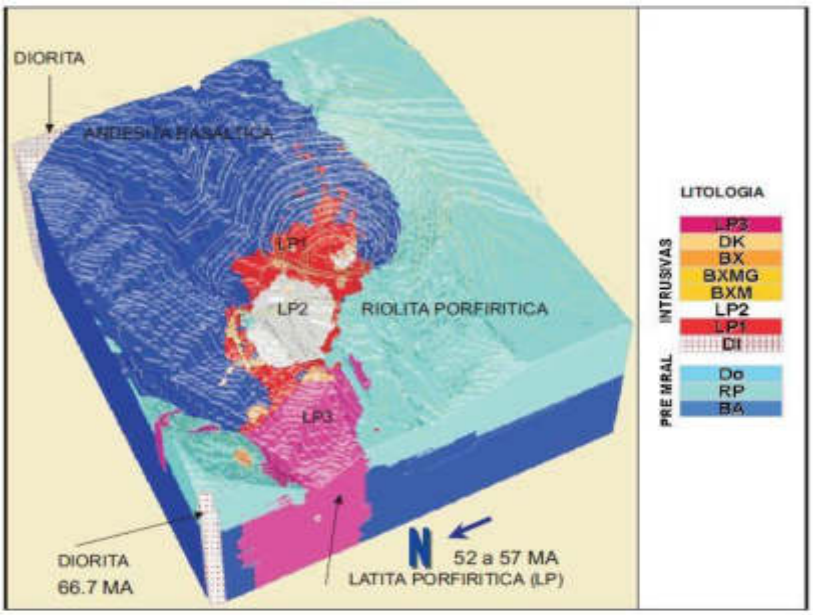


Figura 3. Geología Local - Mina Cuajone.
Fuente: Geología Y génesis de Cuajone

Rocas Pre-Minerales: Vienen a constituir rocas pertenecientes al Grupo Toquepala a las que se les asigna una edad Cretáceo Superior– Terciario Inferior entre 80 y 60 MA de antigüedad, en donde predominan la Andesita Basáltica y la Riolita Porfirítica. (Concha y Bernebé, 1999, p.44)

Rocas Intrusivas: Predominan la Diorita, Latita Porfiritica, Brechas y Diques. Aproximadamente entre 1 y 2 Km. al Oeste del cuerpo mineralizado, se tiene un stock de diorita de forma irregular elongado. Con una dirección predominante Noroeste-Sureste, se tiene la presencia de un cuerpo intrusivo de latita porfirítica de aproximadamente 2.5 Km. de largo por 0.7 Km. de ancho. (Concha y Bernebé, 1999, p.46)

Rocas Post-Minerales: Compuestas por la formación Huaylillas y Chuntacala que generan una cubierta de rocas post minerales y sobre éstas una depositación de rocas volcánicas. La formación Huaylillas está constituida por una secuencia de conglomerados, tobas, vitrófiros, traquitas y aglomerados. Se le asigna una edad entre 23 y 17 MA. La formación Chuntacala Está compuesta por una sucesión de conglomerados, flujos, tobas, y aglomerados que han sido depositados en forma gradacional en unos casos y discordantemente en otros. (Concha y Bernebé, 1999, p.48)

1.4 GEOTECNIA

Los Parámetros Geotécnicos son estudiados por consultores con toda la información de campo y laboratorio (grado de cohesión, permeabilidad, porosidad de las rocas), monitoreo de piezómetros e inclinó metros, información de los logueos de taladros diamantinos (RQD, grado de fracturamiento, geomecánica de roca, pruebas uní axiales), mapeos de celdas, mapeo estructural de la mina, información geológica (tipos de roca, mineralización, alteración). Toda esta información servirá para obtener los ángulos de taludes y dividir la mina en sectores o en dominios estructurales. Los tipos de roca considerados para los dominios estructurales son: Aluvional - Botaderos (ALUV-BOT), Rocas Volcánicas (VOLC), Riolita Porfíritica (RP), Andesita Basáltica (BA) y Latita Porfirítica (LP). (Llacma, 2017, p.33)

1.4.1. Taludes del tajo

Los ángulos de talud usados en el trabajo de optimización del tajo se basan en las recomendaciones hechas el estudio geotécnico de Noviembre 2000 por Golder Associates. Los ángulos recomendados de las paredes finales del tajo dependen de los siguientes factores:

- El tipo de roca expuesta sobre la superficie final del tajo.
- Los dominios estructurales definidos por Golder Associates.
- El azimut (dirección) de las paredes finales del tajo.

Estos factores geológicos / geométricos fueron usados para construir un juego de polígonos de sectores de talud para controlar el ángulo de talud usados a lo largo de las paredes finales del tajo durante el proceso de optimización del tajo. (Llacma, 2017, p.33)

1.4.2. Sectores y ángulos de talud

La tabla resume el tipo de roca e información del azimut de las paredes del tajo asociado con cada dominio estructural y el ángulo asociado de talud inter-rampa. Los ángulos de talud, área de sectores y tipo de rocas expuestas sobre el tajo final. (Llacma, 2017, p.34)

1.5 INGENIERIA

1.5.1. Dimensiones y diseño del tajo

Las dimensiones del tajo en la actualidad son de casi 2.5 km (n-s) de largo por 2.1 Km de ancho (E-W) en el perímetro. El tajo, cuya profundidad es de 680 m (en donde el nivel más alto es 3580 y el más bajo 3100 m.s.n.m). En el futuro el Tajo tendrá un diámetro de 3.4 kilómetros con una profundidad de más de mil metros que lo llevará a ser uno de los más grandes y profundos del mundo. (Llacma, 2017, p.34)

1.5.2. Diseño de vías de acarreo

El diseño es concerniente al tipo de trenes y volquetes con que se cuenta. Para el acarreo por trenes el ancho mínimo de rampas es de 15m con una gradiente de 1% para trenes cargados y de 4.5% para vacíos. En Cuajone se tienen dos sistemas de rampas principales (rampa norte y rampa Sur) actualmente debido a los trabajos de la fase 6 de minado solo opera la rampa norte para el acarreo por volquetes, que permiten la continuidad de la operación en zonas bajas de la mina. El ancho mínimo de rampa para el acarreo es de 30 m y el máximo es de 35 m. Con una

gradiente de rampa que va de 8% a 10 % como máximo. (Llacma, 2017, p.34)

1.5.3. Perfiles de acarreo

Hacia el fondo de mina (nivel 3190) se tienen dos carreteras de acceso, Rampa Norte y Rampa Sur. Ambas rampas tienen 8 y 9 % de gradiente. Generalmente en el fondo de mina se tiene mineral, por lo que el destino de los volquetes son las tolvas de transferencia B o C (volquete-tren) que se encuentran en el nivel 3430. Puede observarse que actualmente estos volquetes levantan 260 metros de altura, lo que significa que estos volquetes realizan un recorrido aproximado de 3000 metros. (Llacma, 2017, p.35)

1.5.4. Zona de disposición de materiales

De acuerdo a los planes de minado las disposición de los materiales se hará de acuerdo a su clasificación en caso de mineral será en dos hoppers (B y C) que luego serán acarreados a la chancadora primaria por trenes, en caso de sulfuros de baja ley estos serán depositado en botaderos preparados especialmente con la finalidad de recuperarlos en un futuro mediante un blending adecuado. (Llacma, 2017, p.35)

1.5.5. Fases de minado

La mina Cuajone está dividida en 8 pushbacks o fases de minado hasta alcanzar el límite final del pit. Las reservas del yacimiento se estiman de acuerdo a la información de la perforación diamantina, redefiniendo el modelo de rocas y el modelo geológico. (Llacma, 2017, p.37)

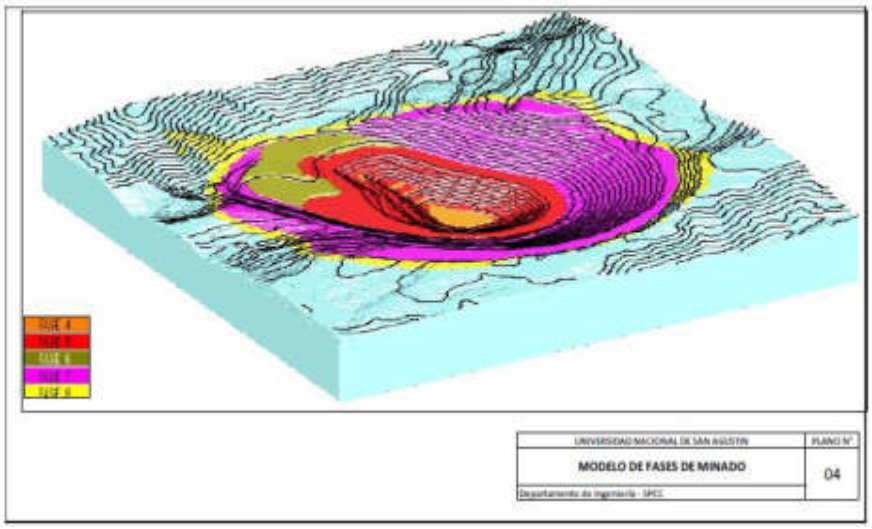


Figura 4. Vista en Sección del Modelo de Fases de Minado 2014-2018
Fuente: Departamento de Ingeniería– Mina Cuajone

1.6 COSTOS GENERALES

Los costos generales considerados para estimar el gasto de producir cobre en Southern Perú incluyen los costos tanto de mina, concentradora, refinería y fundición. Los costos de concentradora están en el rango de 3,51 dólares la tonelada mientras que los costos de fundición y refinería son de 0,09 dólares por libra de cobre fino. Los costos de los proceso de minado se ven afectados por diversos factores, estos pueden ser externos como las alzas en el precio de los combustibles, insumos, escases de llantas o factores internos como caminos, carreteras, planeamiento inadecuado etc. (Llacma, 2017, p.39)

1.7 LEYES DE MINERAL

A la fecha en mina Cuajone se extrae leyes anuales promedios de 0,63% de cobre, y 0,018% de molibdeno. Mina Cuajone extrae treinta y uno millones de toneladas anuales de mineral de cobre a planta concentradora. (Llacma, 2017, p.42)

1.8 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MINADO

Actualmente se explota con bancos de 15 metros de altura con comunicación entre niveles por medio de rampas con una gradiente del 10% (se planea reducir en la fase a 8 %) y carreteras (incluyendo rampas) con un ancho de 35 m. Los ángulos de talud de trabajo (operación) varían entre los 37º y 47º y de banco de 75º. La operación de minado se realiza por el método de tajo abierto, mina Cuajone produce 90 mil toneladas métricas de mineral al día con una ley promedio de 0,62% de cobre. La mina está dividida en ocho fases de minado hasta alcanzar el límite final del tajo, actualmente se encuentra en explotación las fases de minado 5 y 6. (Llacma, 2017, p.42)

Cuajone es una mina que diariamente extrae más de 500.000 t/día, con una vida de mina de aproximadamente de 54 años. Los distintos tipos de materiales a transportar son sulfuros de bajas ley menores a 0,4 % en cobre depositados en botaderos, óxidos que son llevados a planta de lixiviación y mineral transportados a las tolvas de transferencia. (Llacma, 2017, p.42)

La transferencia del mineral hacia la planta chancadora se realiza por medio de trenes, los puntos de acumulación del mineral son llamados hoppers o tolvas de transferencias llamadas B y C cuya capacidad es de 2.000 toneladas cada uno aproximadamente, para el continuo envió de mineral se utiliza cinco trenes los cuales poseen 17 vagones cada uno con capacidad de 75 toneladas. (Llacma, 2017, p.43)

El proyecto de expansión de Cuajone empezó a inicios del año 2010, invirtiéndose un total de $ 39, 4 millones, la compra de equipos de mina y equipos auxiliares de soporte es parte del plan de expansión de Cuajone, el proyecto contempla una metodología de ley de corte variable, que aumentará la producción de cobre y molibdeno a un total de 147 000 toneladas y 3 000 toneladas en los próximos 10 años respectivamente. (Llacma, 2017, p.43)

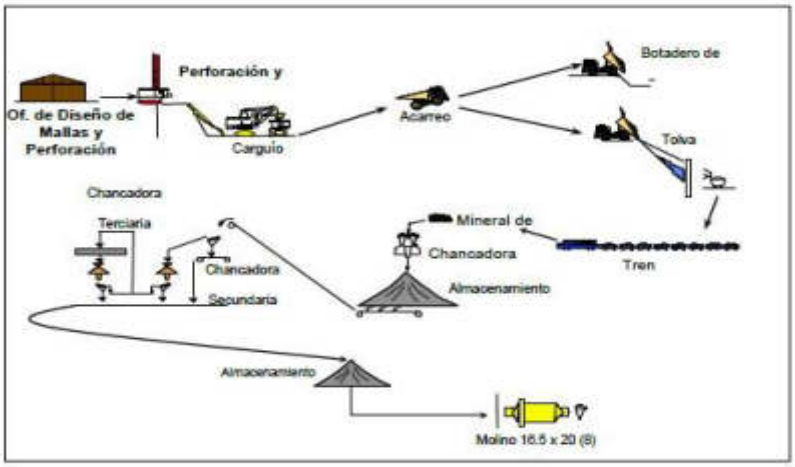


Figura 5. Flujo de operaciones mina.
Fuente: Departamento de Operaciones - Mina Cuajone

1.9 EQUIPOS DE MINADO

1.9.1. Perforación Primaria

Mina Cuajone cuenta con 6 perforadoras rotativas eléctricas entre las marcas P&H y Bucyrus Erie de los modelos 49HR y 39HR esta última cedida del proyecto minero Tía María. La utilización de estos equipos está en el rango de 89% llegándose a perforar 100 000 metros al mes, la productividad diaria por máquina es de 700 metros perforados. (Llacma, 2017, p.44)



Figura 6. Muestra la perforación rotativa
Fuente: Departamento de Perforación y Disparos - Mina Cuajone

1.9.2. Perforación de Pre-Corte

En la perforación de precorte se utilizan dos perforadoras a combustible de la marca Sandvik modelo DR56 y una perforadora Atlas

Copco RockL8 que perforan diámetros de 5”de 15 metros de longitud con inclinaciones de taladros de 70°. (Llacma, 2017, p.44)

1.9.3. Voladura

Se utiliza la mezcla explosiva Quantex (Emulsión gasificada y Nitrato Quantex), la emulsión es sometida a un proceso de gasificación mediante la aplicación del aditivo Nitrito de Sodio el cual genera burbujas de aire dentro de la emulsión las cuales actuaran como puntos calientes durante el proceso de detonación incrementando la energía y poder rompedor del explosivo. En la unidad minera Cuajone se cuenta con 6 camiones mezcladores, 2 cargadores de volteo para el tapado de taladros. (EXSA S.A., 2016)

- AAN-909 (Titán - Southern) – Operativo.
- Z5A-739 (Anfo - Southern) – Operativo.
- F8T-878 (Q-33 - EXSA) – Overhould.
- F8T-912 (Q-34 - EXSA) – Operativo.
- C6F-861 (MOD-104 - EXSA) – Operativo.
- ADT-780 (MOD-35 - EXSA) – Operativo.

1.9.4. Acarreo

Se realiza con volquetes de diversos modelos de tracción eléctrica cuya velocidad oscilan entre 9 a 25 km/ h, se aprovecha la flota de camiones del modelo Komatsu 930 E para zonas de mayores profundidades por las velocidades que desarrollan 26km/h, este modelo cuenta con sistemas de seguridad haciéndolo confiable en pendientes pronunciadas. Para la fase de minado seis se utiliza la flota de volquetes Caterpillar 797F cuyas capacidades son de 390TM, alcanzando productividades de 1 200 TM/h mina Cuajone cuenta con 12 unidades. (Llacma, 2017, p.44)

1.9.5. Carguío

Se realiza con 6 palas eléctricas de capacidades de cucharon de 42 a 73 yd^3, el modelo de pala P&H 2800 se ubica en el fondo del tajo, esta pala es utilizada en zonas de mineral conjuntamente con el cargador frontal Letorneau proporcionando la mezcla diaria de acuerdo a las leyes y durezas según los planes programados. La flota de equipos auxiliares está conformada por tractores de rueda, tractores de orugas, motoniveladoras, retroexcavadoras y cargadores frontales utilizados en las limpiezas de pisos de palas, áreas de perforación, carreteras, limpieza de tolvas de transferencias, mantenimiento de vías férreas, construcción de rampas, construcción de vías, mantenimiento de botaderos, habilitación de bermas laterales y centrales para el tránsito de volquetes, construcción de canales de drenajes. (Llacma, 2017, p.44)

1.9.6. Control de la polución

Se realiza con tres tanques de regadíos de la marca Caterpillar de capacidad de llenado de treinta mil galones distribuidos de la siguiente manera: dos tanques en las zonas centrales del tajo y un tanque exclusivo para la fase de minado 6B. El agua utilizada en el regadío de vías es la que se recolecta de las filtraciones (freática y lluvias) las cuales se han depositado en los niveles inferiores del tajo siendo bombeadas a superficie. (Llacma, 2017, p.45)

CAPITULO II
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La globalización del mercado y por ende el avance tecnológico, han llevado a la industria de los explosivos buscar satisfacer las demandas de sus clientes, desarrollado una gran variedad de mezclas explosivas y nuevos productos con el fin de mejorar los resultados de voladura, reducir la fragmentación y tener influencia en la optimización de las operaciones post voladura para disminuir sus costos.

Los bajos precios de los comodities tienen inmersa a la industria minera casi en su totalidad en una etapa de reajuste, en ella se debe lograr calzar nuevamente los costos y los precios de venta en el mercado de metales, de esta forma llegar a niveles de rentabilidad aceptable: Una alternativa que tienen las compañías mineras para reducir los costos operativos y de esta forma generar márgenes de ahorro, corresponde a la optimización de procesos utilizando nuevas alternativas.

En la actualidad más del 75% de minas en el Perú, principalmente superficiales, vienen usando Mezcla Explosiva Quantex como agente explosivo, ya que por sus características de sensitividad puede llegar a obtener una mayor velocidad de detonación (VOD) que el tradicional Anfo o Anfo Pesado; y esto ha representado óptimos resultados en la fragmentación del mineral.

Bajo esta premisa, en el presente trabajo de investigación se realizará el análisis de factibilidad técnica y económica de la Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible, con el objetivo de determinar las ventajas técnicas de mantener y/o mejorar el performance del explosivo

(velocidad de detonación, fragmentación, densidad y calidad de humos), y determinar las ventajas económicas añadiendo un valor agregado a la operación en cuanto a reducción costos como producto de la eliminación del combustible.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1 Interrogante General

- ¿Es factible técnica y económicamente el uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone?

2.2.2 Interrogantes Secundarias

- ¿Cuáles son las ventajas técnicas para determinar la factibilidad del uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone?
- ¿Cuáles son las ventajas económicas para determinar la factibilidad del uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone?

2.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Por lo mencionado en los párrafos anteriores, el presente trabajo de investigación de "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL USO DE MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX SIN COMBUSTIBLE EN LA UNIDAD MINERA CUAJONE" se considera importante en la actualidad debido al desafío que enfrentan las empresas mineras para alcanzar niveles de rentabilidad.

En la actualidad, frente al reto de la baja de precios de los metales, en mina Cuajone se está buscando las formas de minimizar costos operativos y maximizar la producción en la extracción de minerales. En este sentido, actualmente en el área de perforación y voladura se vienen realizando pruebas utilizando Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible, que tiene como principal característica la eliminación de combustible con el objetivo de minimizar los costos en voladura.

2.4 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo General

- Estudiar la factibilidad técnica y económica del uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone.

2.4.2 Objetivos Específicos

- Estudiar las ventajas técnicas del uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone.

- Estudiar las ventajas económicas del uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone.

2.5 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.5.1 Hipótesis General

- Es factible técnica y económicamente el uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone, y tenga la capacidad de lograr los mismos o mejores resultados que la Mezcla Explosiva Quantex Con Combustible, añadiendo un valor agregado a la operación en cuanto a la reducción de costos por la eliminación de combustible.

2.5.2 Hipótesis Específicas

- El uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible muestra ventajas técnicas en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone.
- El uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible muestra ventajas económicas en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone.

CAPITULO IIII

MARCO TEÓRICO

3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Vilela (2014), desarrolló una investigación experimental, teniendo como población al área de perforación y voladura de la empresa minera. Las conclusiones de esta investigación indican que en el aspecto operativo hubo un incremento en el dig-rate (tasa de excavación) de los equipos de minado en un rango de 3-23%, en seis de los nueve casos analizados con el uso de ANFO Pesado 73 gasificado. Desde el punto de vista medioambiental y en términos de seguridad, se redujo significativamente la generación de humos nitrosos, los cuales generaban demoras operativas y significaban un riesgo para los trabajadores. Económicamente se demostró un ahorro promedio de USD 8.0 por taladro en el reemplazo de ANFO Pesado 46 a base de emulsión matriz aplicado para material duro; y un promedio de USD 14.5 por taladro para el reemplazo de ANFO Pesado 64 a base de emulsión matriz usado en taladros con agua. Finalmente, Minera Yanacocha decidió implementar la utilización del ANFO Pesado 73 a base de emulsión gasificable, para el reemplazo de las mezclas de ANFO Pesado 46 y 64 a base de emulsión matriz. La aceptación del uso de emulsión gasificable en la operación abre un panorama para la investigación en más proyectos, tanto para el estudio de emulsión gasificable pura, así como el aprovechamiento de sus ventajas explosivas y energéticas, como el aumento de tamaño de mallas de perforación.

Llacma (2017), desarrolló una investigación experimental cuya población estuvo conformada por los procesos de voladura de mina Cuajone. Los resultados obtenidos, con la aplicación integral de la mezcla explosiva gasificada, se ven reflejados en un ahorro tangible de USD 5,780.157. Concluyendo así que con esta nueva tecnología en explosivo se está logrando la fragmentación requerida, especialmente en zonas mineralizadas donde se obtiene una reducción de la fragmentación de 7.1% e incremento de la velocidad de minado de las palas en 10%.

Condori (2015), desarrolló una investigación de tipo experimental con una población de 26 disparos de voladura, llegando a la conclusión de que la emulsión gasificable alcanzó mejor performance en la velocidad de detonación (VOD) produciendo mejores resultados que el Heavy ANFO 45/55. Los resultados, en términos de fragmentación y eliminación de gases nitrosos ofrecieron mejores condiciones de excavabilidad del material volado por parte de los equipos de minado; así como también generó ahorro debido a los menores factores de potencia registrados. Con el uso de la emulsión gasificable en reemplazo de la emulsión matriz se ha obtenido un porcentaje de ahorro del 5.4%.

Chugá (2017), desarrolló una investigación de tipo descriptiva, utilizó como población a las voladuras presentes en distintas fases de explotación de la mina Cuajone. Sobre la evaluación de resultados de voladura convencional y gasificada para las distintas rocas estudiadas, el investigador concluye lo siguiente.

Para Roca Andesita Basáltica con alteración Potásica, BA-PTK:

- La opción más viable con respecto a Costos, es la mezcla explosiva convencional con ANFO pesado HA28, equivalente a un costo unitario de 0.34 US$/Ton; y un consumo de explosivo igual a 1.12 Kg/m3 o 0.41 Kg/ Ton.

Para Roca Latita Porfirítica con alteración Potásica, LP-PTK:

- La opción más viable con respecto a Costos, es la mezcla explosiva convencional con ANFO pesado HA28, equivalente a un costo unitario de 0.29 US$/Ton; y un consumo de explosivo igual a 0.94 Kg/m3 o
  0.36 Kg/ Ton.

Para Roca Aglomerado Gris, AG:

- La opción más viable con respecto a Costos, es la mezcla explosiva gasificada MEQ73, equivalente a un costo unitario de 0.15 US$/Ton; y un consumo de explosivo igual a 0.47 Kg/m3 o 0.21 Kg/ Ton.

Para Roca Riolita Porfirítica con alteración Fílica-propílica, RP-FIL-PRO:

- La opción más viable con respecto a Costos, es la mezcla explosiva gasificada MEQ73, equivalente a un costo unitario de 0.14 US$/Ton; y un consumo de explosivo igual a 0.58 Kg/m3 o 0.22 Kg/ Ton.

3.2 BASES TEÓRICAS

3.2.1. Explosivos

Los explosivos son sustancias químicas con un cierto grado de inestabilidad en los enlaces atómicos de sus moléculas que, ante determinadas circunstancias o impulsos externos, propicia una reacción rápida de disociación y nuevo reagrupamiento de los átomos en formas más estables. Esta reacción, de tipo oxidación – reducción, es inducida térmicamente por los llamados “puntos calientes”, se conoce con el nombre de detonación y origina gases a muy alta presión y temperatura, los cuales generan a su vez una onda de compresión que recorre el medio circundante. (Bernaola, Castilla y Herrera, 2013, p.65)

De esta forma, la energía química contenida en el explosivo se transforma en la energía mecánica de esa onda de compresión. Cabe señalar que en contra de lo que pudiera imaginarse, no es cuantitativamente importante (por ejemplo, un kilogramo de explosivo contiene aproximadamente una décima parte de la energía contenida en un litro de gasolina). La clave que le proporciona su singular poder expansivo es su capacidad de liberarla en un corto espacio de tiempo. (Bernaola et al., 2013, p.65)

La onda de compresión se genera por el aumento de volumen que sufren los productos de reacción en forma gaseosa, de manera que se dispone de energía mecánica suficiente y aplicable a la fragmentación de rocas, convirtiéndose en un elemento clave en minería y en todo tipo de excavaciones en roca. (Bernaola et al., 2013, p.65)

3.2.2. Clasificación de los explosivos

En términos generales los explosivos por su forma de reacción se clasifican en: explosivos químicos y explosivos nucleares. Los explosivos químicos actúan por procesos de reacción química de detonación producidos por efecto de una onda de choque. Están mayormente vinculados con compuestos nitrados y son los de aplicación común en minería y construcción civil. (EXSA S.A., 2009, p.25)

3.2.2.1. Explosivos químicos

Según Condori (2015) son aquellas mezclas explosivas cuya liberación de energía va acompañada de una reacción química donde se cumple la ley de la conservación de la materia y energía. Los explosivos químicos son clasificados en:

- **Altos explosivos:** Son aquellos detonantes sensibles al fulminante número 8, los mismos que reaccionan a una velocidad mayor que la velocidad del sonido; su velocidad de detonación es del orden de 6 000 a 10 000 m/s, y su presión de detonación alrededor de 4 x 106 PSI. Ejemplo: dinamitas, permisibles, explosivos acuosos (hidrogel, emulsiones) y explosivos especiales. (Condori, 2015, p.29)

- **Bajos explosivos:** Se caracterizan por su bajo rango de deflagración, unos cuantos cm/s o m/s menores que la velocidad del sonido y presiones menores, hasta 3000 PSI,
  ejemplo: la pólvora negra. (Condori, 2015, p.29)

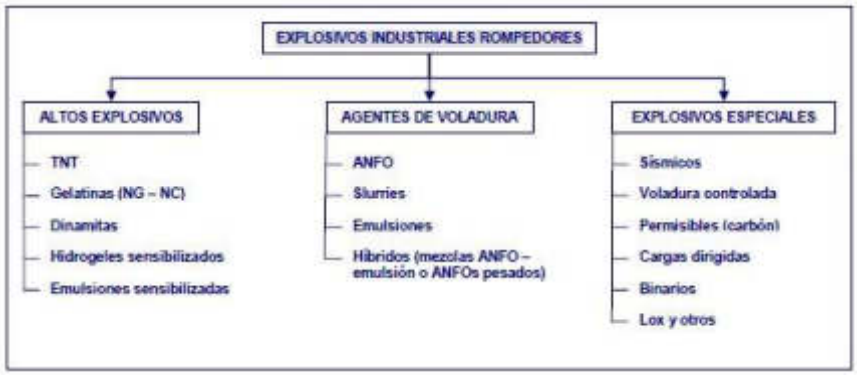


Figura 7. Clasificación general de los explosivos industriales
Fuente: Manual de Practico de Voladura (EXSA, 2009)

3.2.2.2. Explosivos químicos

Los nucleares están vinculados a la desintegración de materiales como Uranio 235 y Plutonio, proceso que desprende inmensas cantidades de energía. Su empleo actual es el campo militar y de investigación. (EXSA S.A., 2009, p.25)

3.2.3. Agentes de Voladura

Son mezclas explosivas que tienen como ingredientes un oxidante y un combustible, y requieren de un booster para su iniciación. Estos agentes de voladura, no son sensibles al fulminante número 8.

Ejemplo: ANFO, ANFO PESADO, SANFO, Slurries, Emulsiones, etc.

(Condori, 2015, p.29)

No obstante, que ninguno de sus ingredientes son explosivos cuando ellos no han sido mezclados, pueden ser sensibilizados lo suficiente como para poder convertirse en altos explosivos (Condori, 2015, p.29).

3.2.3.1. ANFO

Según Bernaola et al. (2013) En la línea de reducir el contenido en nitroglicerina (o nitroglicol) del explosivo para incrementar su seguridad, surgieron los explosivos tipo ANFO (Ammonium Nitrate + Fuel Oil), es un agente de voladura que consiste en una mezcla compuestos por un 94 % aproximadamente de nitrato amónico que actúa como oxidante y en torno a un 6 % de gasoil que actúa como combustible. Las características de este explosivo son las siguientes:

- Baja / media potencia.
- Muy baja densidad (0,8).
- Nula resistencia al agua, ya que el nitrato amónico es soluble en agua y pierde su capacidad de detonar.
- Baja velocidad de detonación (2.000 - 3.000 m/s).
- No son sensibles al detonador, por lo que necesitan de otro explosivo para iniciarse correctamente, lo que puede conseguirse con cordones detonantes, cebos

de dinamita gelatinosa, cartuchos de hidrogel o multiplicadores.

Debido a su consistencia granular y a la solubilidad del nitrato amónico, no resisten al agua, por lo que su aplicación en barrenos que contengan este elemento está totalmente desaconsejada. Por el contrario, esta consistencia granular hace que el explosivo ofrezca una importante ventaja, y es la de que resulta muy fácil la carga mecanizada del mismo. Generalmente este producto se comercializa a granel, tanto ensacado como expedido en camión tolva para su utilización directa, si bien también se suministra encartuchado (Bernaola et al., 2013, p.99).

El diámetro de diseño de taladro también es un parámetro fundamental en la velocidad de detonación, lo cual se ve representado en el siguiente gráfico, teniendo una proporción directa. (Lopez, Lopez y García, 2003, p.155)

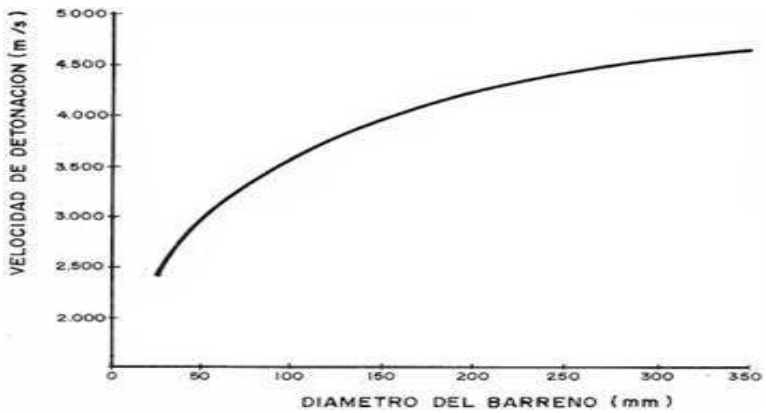


Figura 8. Influencia del diámetro del taladro en la velocidad de detonación
Fuente: Manual de perforación de voladura de rocas ((Lopez, Lopez y García, 2003, p.157)

3.2.3.2. Emulsiones

Según Bernaola et al. (2013) en la misma línea de buscar un explosivo de la máxima seguridad y potencia que pueda ser utilizado en barrenos con agua, el último desarrollo en explosivos industriales lo constituyen las conocidas como emulsiones. Consisten en una fase dispersa formada por pequeñas gotas de disolución de NH4NO3 o de NaNO3 en agua, que están rodeadas de una fina película de 10-4 mm de aceite mineral (fase continua). Se trata, por tanto, de explosivos compuestos básicamente por nitrato amónico o nitrato sódico con un contenido en agua entre el 14 y el 20 %, un 4 % aproximadamente de gasoil y menores cantidades (1 – 2 %) de otros productos, entre los que se encuentran:

- Agentes emulsificantes (oleato o estearato de sodio).
- Ceras para aumentar la consistencia y el tiempo de almacenamiento.

Algunos fabricantes incorporan también en la composición burbujas de aire o esferas huecas de vidrio (llamadas microesferas) que incrementan la onda de detonación, aumentando la sensibilidad, y partículas de aluminio que aumentan igualmente su potencia y sensibilidad (Bernaola, et al., 2013, p.102).

Bernaola (2013) menciona que el área de contacto entre oxidante y combustible que proporciona la emulsión, favorece una amplia y completa reacción. Por otra parte, la película de aceite constituye una protección del nitrato frente al agua. De todo aquello se deriva un explosivo en forma de pasta, capaz de ser bombeado o de ser encartuchado y que tiene las siguientes características:

- Alta velocidad de detonación (4.500-5.500 m/s).

- Excelente resistencia al agua.
- Mucha menor sensibilidad al choque o a la fricción.



Figura 9. Tipos de emulsión
Fuente: Perforación y voladura de rocas en minería (Bernaola et al., 2013, p.103)

3.2.3.3. ANFO Pesado

El ANFO pesado es una combinación de perlas de nitrato de amonio, diésel y emulsión. La ventaja de las mezclas de ANFO pesado es que se pueden hacer y cargar fácilmente al barreno. La proporción en las cantidades de emulsión y ANFO puede ser cambiada y obtener ya sea un explosivo con mayor energía y que sea resistente al agua (Konya y Albarrán, 1998, p.61).

El costo del ANFO pesado aumenta con el porcentaje de emulsión. La ventaja sobre los productos encartuchados es que el barreno se encuentra cargado totalmente y no existen huecos entre el barreno y la carga. Una desventaja es que, ya que el explosivo ocupa el volumen total del barreno, si existe agua, ésta es empujada hacia arriba, lo que significa que se debe utilizar esta mezcla en todo el barreno. En cambio, con productos

encartuchados y debido al espacio entre el cartucho y el barreno, se puede cargar producto encartuchado hasta rebasar el nivel del agua y entonces usar ANFO normal a granel de menor precio (Konya y Albarrán, 1998, p.61).

La carga de explosivos encartuchados es más tediosa y requiere de más personal ya que los cartuchos tienen que llevarse al lugar de la voladura e introducirlos al barreno uno por uno. El ANFO pesado requiere menos personal ya que el explosivo es bombeado directamente al barreno desde un camión (Konya y Albarrán, 1998, p.61).

Algunas operaciones tratan de usar ANFO pesado en barrenos mojados, sin embargo, utilizan mezclas que no contienen la suficiente cantidad de emulsión. Para proveer la resistencia al agua adecuada, se recomienda que por lo menos se utilice el 50% de emulsión en un ANFO pesado que se usará en barrenos mojados (Konya y Albarrán, 1998, p.61)

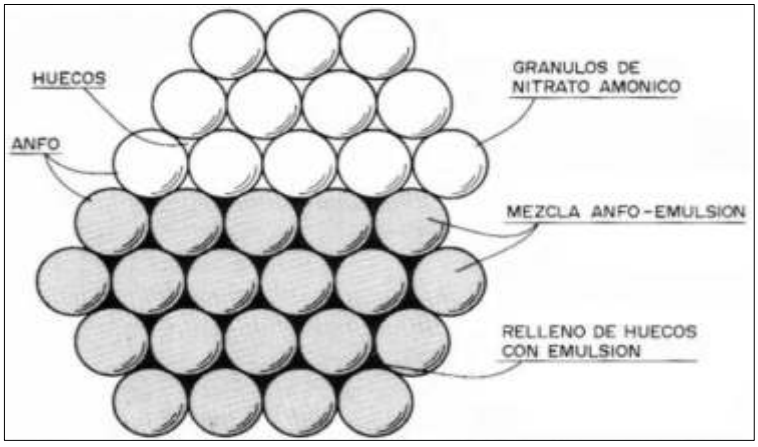


Figura 10. Estructura del ANFO Pesado
Fuente: Manual de perforación de voladura de rocas (Lopez, Lopez y García, 2003, p.157)

Existen diversas mezclas de ANFO Pesado, incluyendo su capacidad de resistencia al agua, densidad,

así como VOD (Konya y Albarrán, 1998, p.61). Las principales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.
Características principales de diferentes mezclas de ANFO Pesado

Mezclas Explosivas	Composición (%)		Densidad (gr/cc)	VOD (m/s)	Resistencia al Agua
	Emulsión	ANFO			
HA-37	30	70	1.05(+-0.01)	4800-5000	Nula
HA-46	40	60	1.15 (+0.01)	5000-5200	Baja
HA-55	50	50	1.27 (+0.01	5200-5400	Buena
HA-64	60	40	1.29 (+0.01)	4500-4800	Excelente

Nota:
- Tipo de Emulsión: Emulsión matriz para todas las mezclas de la tabla
- VOD: Los rangos de VOD son para taladros de 10 5/8 de diámetro
- HA = Heavy ANFO

Fuente: Asistencia Técnica (EXSA, 2016)

3.2.4. Propiedades y características de los explosivos

De acuerdo con los objetivos del presente estudio, las características que serán desarrolladas son aquellas que han podido ser medidas en la operación y afectan directamente la calidad de la fragmentación, lo que a su vez se relaciona con la productividad de los equipos de minado, los cuales no pueden ser afectados de manera negativa (Vilela, 2014, p.34).

En este sentido, es importante mencionar que los agentes de voladura descritos previamente son fabricados y sensibilizados in-situ por medio de camiones fábrica, por lo que su calidad está ligada a la calibración de los equipos, calidad de componentes y capacidad del operador. Asimismo, los explosivos pueden ser afectados directamente por el medio ambiente que contiene los taladros, como flujos de agua, acidez del agua, fracturamiento de la roca, altas temperaturas, etc. En estos casos no se puede asumir al explosivo como puro con características uniformes debido a que su performance, sensibilidad y otras características propias pueden ser afectadas (Vilela, 2014, p.34).

El Poder Rompedor o Brisance es la capacidad para fracturar y el efecto destructivo ejercido sobre la roca, por resultado de la descomposición instantánea del explosivo. A su vez, considera que esto es proporcional a la densidad de carga y velocidad de detonación. Estos son los factores analizados en el presente estudio (Vilela, 2014, p.34).

3.2.4.1. Potencia Explosiva

> Se puede definir la potencia explosiva como la capacidad que posee el explosivo para quebrantar y proyectar la roca. En realidad, se trata de la energía del mismo aprovechado en la voladura. Esta característica depende fundamentalmente de la composición de explosivo, pudiendo optimizarse con la adecuada técnica de voladura (Bernaola et al, 2013, p.71).

3.2.4.2. Velocidad de Detonación (VOD)

> Es “la velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo y, por lo tanto, es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía”. La liberación de energía mencionada, en forma de sonido, calor y gases en un instante de tiempo, es la que se aprovecha para la
> fragmentación de la roca. (Bernaola et al., 2013, p.77)

> El trabajo útil que puede brindar cada explosivo, también entendido como efecto triturador, está ligado a la onda de choque durante la detonación, y ésta a su vez a la densidad y velocidad de detonación. Por este motivo, se puede utilizar la velocidad de detonación para determinar la eficiencia de una reacción explosiva (Vilela, 2014, p.34).

> Debido a ello es se considera la velocidad de detonación un factor crítico que determinará el rendimiento de un explosivo y que a su vez posee un método de

medición sencillo. Por otro lado, hay diversos factores que afectan la velocidad de detonación como la densidad de carga, diámetro, confinamiento, iniciación y tiempo de espera dentro del taladro. En la siguiente tabla de detallan los valores aproximados de velocidad de detonación para diferentes agentes de voladura (Vilela, 2014, p.35).

Tabla 3.
Velocidades de detonación para diferentes agentes de voladura.

Agente de Voladura	VOD (m/s) para taladros de diámetro:		
	32 mm	75 mm	229 mm
Emulsión a Granel	4000 – 4600	4300 – 4900	3700 – 5800
ANFO Cargado Neumáticamente	2100 – 3000	3700 – 4300	4300 – 4800
ANFO Vaciado	1800 – 2100	3000 - 3400	4300 – 4600
ANFO Encartuchado	-	3000 - 3700	4300 – 4600
ANFO Pesado	-	-	3400 – 5800

Fuente: (Vilela, 2014, p.35).

3.2.4.3. Densidad

La densidad es un parámetro crítico en los explosivos, debido a que de éste dependen muchas importantes características como resistencia al agua, velocidad de detonación, poder rompedor, entre otras. Además, los explosivos se compran, almacenan y utilizan en base a su peso. Por tal motivo, la cantidad de explosivo que se diseña para cada taladro está basada en la densidad y por ende sus características para las cuales se diseñó dependen de la calidad del carguío (Vilela, 2014, p.35).

La calidad para los agentes de voladura es un factor crítico debido a que si la densidad es muy baja, la columna explosiva se vuelve muy sensible y puede ser iniciada por el cordón detonante, antes de que el booster inicie la detonación desde el fondo del taladro. Por otro lado, si la

densidad es muy alta, el agente de voladura pierde la sensibilidad al booster y no inicia (Vilela, 2014, p.35).

En la siguiente tabla se muestran algunas densidades referenciales para agentes de voladura, las cuales varían entre 0.8 y 1.6 gr/cc similarmente a la velocidad de detonación, a mayor densidad incrementa el poder rompedor del explosivo (Vilela, 2014, p.35).

Tabla 4.
Densidades para diferentes agentes de voladura.

Tipo	Densidad (gr/cc)
Emulsión a Granel	1.1 – 1.6
ANFO Cargado Neumáticamente	0.8 – 1.0
ANFO Vaciado	0.8 – 0.9
ANFO Encartuchado	1.1 – 1.2
ANFO Pesado	1.1 – 1.4

Fuente: (Vilela, 2014, p.35).

3.2.4.4. Presión de detonación

La presión de detonación de un explosivo es función de la densidad y del cuadrado de la velocidad de detonación. Se mide en el plano de C – J de la onda de detonación cuando se propaga a través de la columna de explosivo, como ya se ha indicado (Lopez et al., 2003, p.111).

Según Lopez et al., (2003) aunque la presión de detonación de un explosivo depende, además de la densidad y de la VD, de los ingredientes de este compuesto, una fórmula que permite estimar dicho parámetro es:

$$PD = 432\ x\ 10^{-6}\ x\ \rho_e\ x\ \frac{VD^2}{1 + 0.8\ x\ \rho_e}$$

Dónde:

PD = Presión de detonación (Mpa).

ρe = densidad del explosivo (g/cm3).

VD = Velocidad de detonación (m/s).

Los explosivos comerciales tienen una PD que varía entre 500 y 1500 MPa. Generalmente, en rocas duras y competentes la fragmentación se efectúa más fácilmente con explosivos de alta presión de detonación, debido a la directa relación que existe entre esta variable y los mecanismos de rotura de la roca (Lopez et al., 2003, p111).

3.2.4.5. Resistencia al agua

Se entiende por resistencia al agua a la característica por la cual un explosivo, sin necesidad de cubierta especial, mantiene sus propiedades inalterables durante un periodo de tiempo en contacto con el agua. Las dinamitas gelatinosas, hidrogeles y emulsiones resisten perfectamente cuando son cargados en barrenos con agua y por ello permiten su utilización en barrenos con agua en su interior. Sin embargo, los productos pulverulentos y ANFO no resisten al agua por el carácter soluble del nitrato amónico (Bernaola et al, 2013, p.81).

La resistencia al agua depende del estado de agregación de cada elemento de los explosivos. A modo de ejemplo, el nitrato amónico es muy poco resistente al agua ya que se disuelve en ella con facilidad; sin embargo y, en determinadas condiciones y en forma de emulsión o disolución saturada, es el componente principal de ciertos explosivos caracterizados por su buena resistencia al agua (Bernaola et al, 2013, p.81).

En el caso de que la aplicación del explosivo deba realizarse en voladuras bajo agua, se ha de tener en

cuenta que el explosivo a utilizar no solo debe ser capaz de soportar la presencia del agua sin disolverse, sino que debe mantener su sensibilidad de iniciación y propagación en estas circunstancias. En estos casos, se deben utilizar explosivos diseñados especialmente para esta finalidad (Bernaola et al, 2013, p.81).

Por último, cuando los barrenos presentan simplemente humedad, se pueden emplear prácticamente todos los tipos de explosivos siempre que el tiempo de permanencia de explosivo en el barreno sea breve o bien se realice el enfundado de los mismos si se trata de explosivos a granel como el ANFO. Para mitigar este efecto, se han desarrollado productos específicos, como, por ejemplo, el ANFO resistente al agua, que incorpora aditivos que recubren el prill de nitrato amónico de modo que no se disuelva en agua durante un cierto periodo de tiempo (Bernaola et al, 2013, p.81).

3.2.4.6. Calidad de humos

Los humos residuales son el conjunto de productos gaseosos resultantes de la reacción de detonación del explosivo entre los que se hallan vapores nitrosos (NOx), vapor de agua, monóxido de carbono (CO) y anhídrido carbónico (CO2) (Bernaola et al., 2013, p.82).

Los explosivos industriales poseen una composición tal que las reacciones químicas que se producen generan humos de voladura de limitado contenido en gases nocivos (CO y NOx), lo que indica que se produce una reacción química completa (Bernaola et al., 2013, p.82).

No obstante, dado que, en general, las condiciones de aplicación se apartan de las condiciones teóricas, el

nivel de gases tóxicos (CO, NOx, etc.) generados en las voladuras es elevado, pudiendo ocasionar molestias e incluso graves intoxicaciones a las personas. Por ello nunca se debe acceder a las inmediaciones de un frente después de una voladura, sin tener la seguridad de que se han ventilado los gases producidos en la misma, bien por medición directa o cálculo (Bernaola et al., 2013, p.82).

3.2.4.7. Sensibilidad

Se puede definir la sensibilidad de un explosivo como el mayor o menor grado de energía de iniciación que hay que trasmitirle para que se produzca su iniciación y, a continuación, su detonación (Bernaola et al., 2013, p.82).

Según Bernaola et al. (2013) se pueden considerar diferentes aspectos relativos a la sensibilidad de los explosivos; unas afectan a la seguridad en la manipulación (fabricación, transporte y utilización) y otras a su iniciación en la voladura:

- Sensibilidad al detonador.
- Sensibilidad a la onda explosiva.
- Sensibilidad al choque y al rozamiento.

3.2.4.8. Estabilidad química

La estabilidad química de un explosivo es su aptitud para mantenerse químicamente inalterado con el paso del tiempo. La estabilidad está garantizada si las condiciones de almacenamiento y el periodo de almacenamiento son los adecuados y correctos, permitiendo al usuario tener un producto totalmente seguro y fiable para los trabajos de voladura. (Bernaola et al., 2013, p.85).

3.2.4.9. Balance de oxigeno

Los elementos que normalmente constituyen la formulación química de un explosivo (nitrógeno, carbono e hidrógeno) teóricamente deben dar como productos de la explosión nitrógeno (gas), dióxido de carbono y vapor de agua (Bernaola et al., 2013, p.87).

La reacción correspondiente al ANFO, explosivo formado por nitrato amónico y fuel-oil, sería:

$$3\ NH_4NO_3 + CH_2 \rightarrow 7H_2O + CO_2 + 3N_2 + 940\ cal/g\ (1)$$

Según Bernaola (2013) este supuesto corresponde al caso en que la composición del ANFO que reacciona sea del 94,5% de NO3NH4 y 5,5% de fueloil. En el caso de que estas proporciones fueran distintas, se obtendría:

$$2\ NH_4NO_3\,(90\%) + CH_2\,(8\%) \rightarrow 5H_2O + CO + 2N_2 + 820\ cal/g\ (2)$$

$$5\ NH_4NO_3\,(96.6\%) + CH_2\,(3.4\%) \rightarrow 11H_2O + CO_2 + 4N_2 + 2NO + 610\ cal/g\ (3)$$

La reacción (1) corresponde al caso en que la cantidad de oxígeno que reacciona es la estrictamente necesaria para la oxidación completa del carbono y del hidrógeno, quedando el nitrógeno libre. Como puede verse, es a esta reacción a la que corresponde el mayor calor de explosión (Bernaola et al., 2013, p.87).

Cualquiera de las otras dos reacciones (2) y (3), que corresponden a formulaciones con defecto o exceso de oxígeno sobre el teórico necesario, aparte de generar un calor de explosión más bajo, también dar lugar a la liberación de una cierta cantidad de gases tóxicos (monóxido de carbono u óxidos de nitrógeno), lo que es una cuestión particularmente importante si la voladura se realiza en un espacio subterráneo sin suficiente ventilación. Al déficit o superávit de oxígeno que tiene un

explosivo en su formulación química, expresado en % sobre el teórico necesario, se le denomina "balance de oxígeno" (B.O.). El B.O. sería por tanto nulo con la formulación (1), negativo con la (2) y positivo con la (3). Como se ha visto, el B.O. afecta a la potencia del explosivo (calor de explosión) y a la producción de humos tóxicos (Bernaola et al., 2013, p.87).

3.2.5. Mezcla Explosiva Quantex (MEQ) Estándar

Según EXSA S.A. (2016), es una mezcla de emulsión, Nitrato de amonio de alta densidad, combustible en un porcentaje menor y la solución gasificante que luego se sensitiviza con burbujas de nitrógeno, por reacción química con una solución de nitrito de sodio.



Figura 11. Composición de la Mezcla Explosiva Quantex
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

Esta investigación se enfoca en diferentes mezclas, llevado a diferentes densidades con tal de conseguir (tanto en costos como fragmentación) resultados similares o mejores a los obtenidos con las mezclas explosivas utilizadas hasta la fecha.

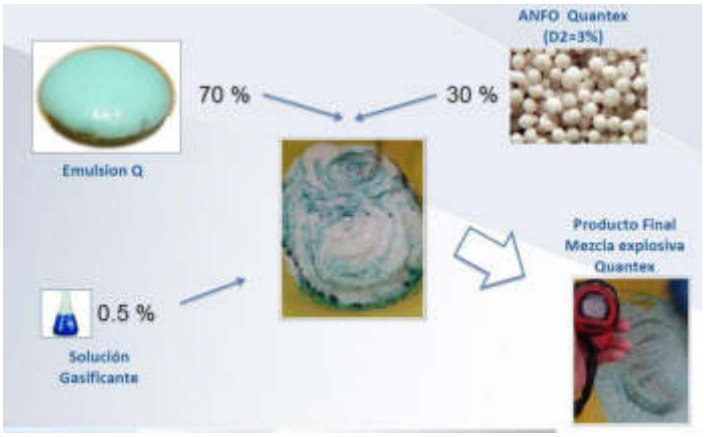


Figura 12. Porcentajes de la composición de la Mezcla Explosiva Quantex 73
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

3.2.5.1. Nitrato de Amonio Quantex

Gracias a su alta densidad, permite generar el equilibrio perfecto en la mezcla explosiva gasificada. El proceso de gasificación sensibiliza a la emulsión, bajando su densidad; por lo tanto, el Nitrato de Amonio de alta densidad, aporta mayor energía a una mezcla final altamente sensitiva, minimizando así los costos de voladura, logrando una buena fragmentación de roca. Es usado principalmente en la fabricación de ANFO, para mezclas pesadas y gasificadas que contienen 70% de emulsión (EXSA S.A., 2016).



Figura 13. Nitrato de Amonio Quantex
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

3.2.5.2. Emulsión (Slurrex Q)

Emulsión a granel especialmente diseñada para la reducción de gases nitrosos y para ser usada en taladros con agua, permitiendo de esta forma la reducción en los costos de operación dado que se puede controlar la densidad del explosivo, lo que brinda un gran poder energético y lo hace aplicable a taladros de grandes dimensiones (EXSA S.A., 2016).



Figura 14. Emulsión Quantex
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

3.2.5.3. Solución gasificante (Nitrito de Sodio L-9)

Solución formulada para promover generación de burbujas de nitrógeno al estar en contacto con la emulsión gasificable generándose así el explosivo gasificado (EXSA S.A., 2016).



Figura 15. Nitrito de Sodio
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

3.2.6. Gasificación de la Mezcla Explosiva Quantex

El proceso de gasificación de la Mezcla Explosiva Quantex consiste en formar pequeñas burbujas en la matriz, las cuales actúan en forma de hot spots. Ello permite variar su densidad y sus demás características, según la cantidad del agente gasificante que se dosifique. A continuación, se muestra la gasificación que ocurre en un taladro cargado (EXSA S.A., 2016).



Figura 16. Proceso de gasificación de la MEQ en un taladro
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

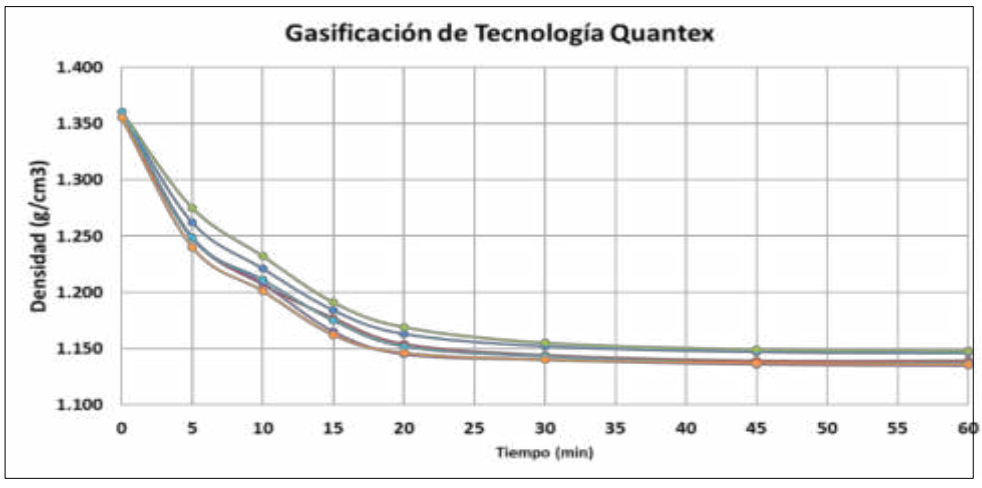


Figura 17. Proceso de gasificación de la MEQ
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

Esta investigación se enfoca tres tipos de Mezcla Explosiva Quantex (MEQ73, MEQ82, MEQ75-25), llevado a diferentes densidades.

3.2.7. Sensibilización de la emulsión

Este estudio se enfoca en la sensibilización de la mezcla mediante la generación de burbujas de aire por la adición de un agente gasificante, siendo en este caso el nitrito de sodio (NaNO2). Esta sustancia química reacciona con el nitrato de amonio, generando pequeñas burbujas de gas nitrógeno. A continuación, se muestra la reacción química que ocurre (EXSA S.A., 2016).

$$Na(NO)2 + NH4(NO)3 \rightarrow N2 + Na(NO)3 + 2H2O \quad (1)$$

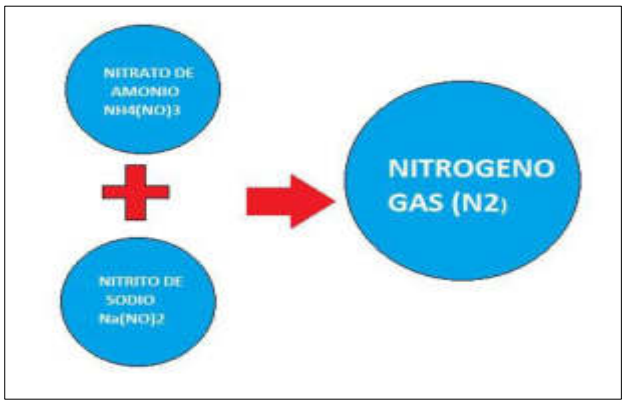


Figura 18. Sensibilización química por la generación de burbujas de Nitrógeno
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

La reacción (1) se lleva a cabo de manera muy lenta y con la finalidad de acelerar el proceso de gasificación se agrega ácido acético, el cual se encarga de romper algunas microgotas de emulsión y liberar al nitrato de amonio en su interior para que reaccione con el nitrito de sodio. También es necesario agregar el catalizador tiourea, el cual se encarga de acelerar aún más el proceso de gasificación (EXSA S.A., 2016).

La adición del ácido acético le da un carácter ácido a la emulsión. Asimismo, la cantidad de adición, junto con la tiourea, se determina durante las pruebas del explosivo, debido a que son solamente catalizadores y no intervienen en la reacción de formación del gas nitrógeno. La siguiente tabla muestra el porcentaje de nitrito de sodio que es agregado a la MEQ para lograr la densidad final deseada, partiendo de una densidad inicial de 1.345 g/cc. Cabe indicar que el tiempo que dura el proceso de gasificación de un taladro es de 15-20 minutos, por lo que se tiene que esperar este tiempo antes de tapar el taladro (EXSA S.A., 2016).

Tabla 5.
Flujo de Nitrito de Sodio para gasificar la MEQ según el flujo de descarga de la mezcla explosiva

Densidad Final (g/cc)	Nitrito de Sodio (%)	Flujo de Explosivo (Kg/min)			
		350	300	250	200
		Flujo de Nitrito de Sodio (Kg/min)			
1.20	0.22	0.770	0.660	0.550	0.440
1.15	0.29	0.998	0.855	0.713	0.570
1.10	0.37	1.295	1.110	0.925	0.740
1.05	0.45	1.575	1.350	1.125	0.900
1.00	0.52	1.520	1.560	1.300	1.040
0.95	0.60	2.100	1.800	1.500	1.200

Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

3.2.8. Beneficios de la Mezcla Explosiva Quantex

- Permite reducción los costos en voladura.
- Elimina la dependencia del nitrato de amonio de baja densidad
- Alta resistencia al agua estática y dinámica.
- Mayor energía y poder de fragmentación.
- Alta sensitividad.
- Adaptabilidad a todo tipo de terreno (amplio rango de densidades).
- Ofrece mejores resultados en fragmentación de rocas.

3.2.9. Factores que afectan al rendimiento de la voladura

El Diseño de Voladuras es una técnica que se basa en la aplicación de técnicas de cálculo en un medio heterogéneo, en el cual los resultados obtenidos pueden influir en gran medida en el desarrollo del método de explotación (Bernaola et al., 2013, p.141).

Así, es importante destacar que para saber si los resultados de una voladura son buenos o no, es necesario saber qué es lo que iba buscando cuándo se diseñó la misma. Se puede decir que una voladura ha sido realizada con éxito si los resultados obtenidos coinciden con el objetivo buscado (Bernaola et al., 2013, p.141).

Según Bernaola (2013) el objetivo de una voladura, de acuerdo a la definición establecida al principio del capítulo es aquella en la que se buscan unos resultados en fragmentación y desplazamiento, además, de no afectar a elementos ajenos a la voladura. Para lograr este objetivo, y evaluar el correcto rendimiento de una voladura se deben tener en cuenta tres factores fundamentales que son clave en un correcto diseño y control, que son:

- Una correcta cantidad de energía. Para lograr los resultados deseados hace falta la cantidad de explosivo adecuada en cada caso.

- Una correcta distribución de energía. El explosivo es un producto que implica la transformación de energía química en energía mecánica, de modo que una mala distribución nos puede dar lugar a una fragmentación no deseada o bien, a concentraciones de energía tales que afecten a elementos ajenos a la misma.

- Un correcto confinamiento de energía. Para que el explosivo trabaje correctamente es necesario que los gases generados estén confinados en el barreno, de modo que la pérdida de energía por este hecho sea mínima.

Así se obtienen tres conceptos que están íntimamente relacionados entre sí, de modo que la falta de uno de ellos, hace que el rendimiento obtenido no se corresponda con el deseado (Bernaola et al., 2013, p.141).

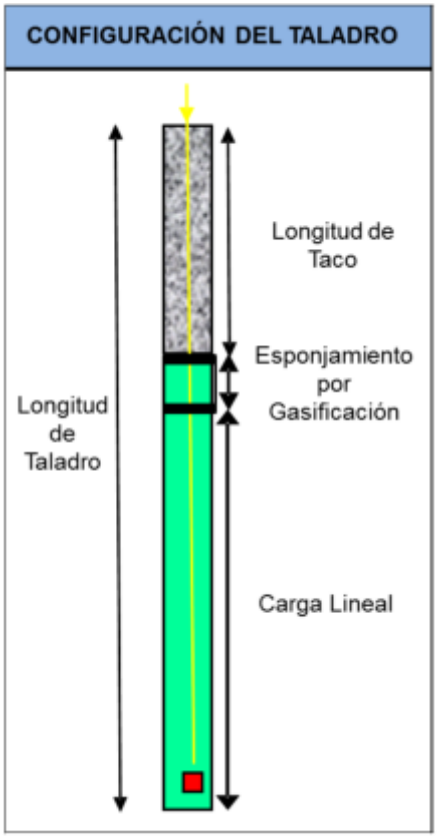


Figura 19. Diseño de carga de taladros con MEQ
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

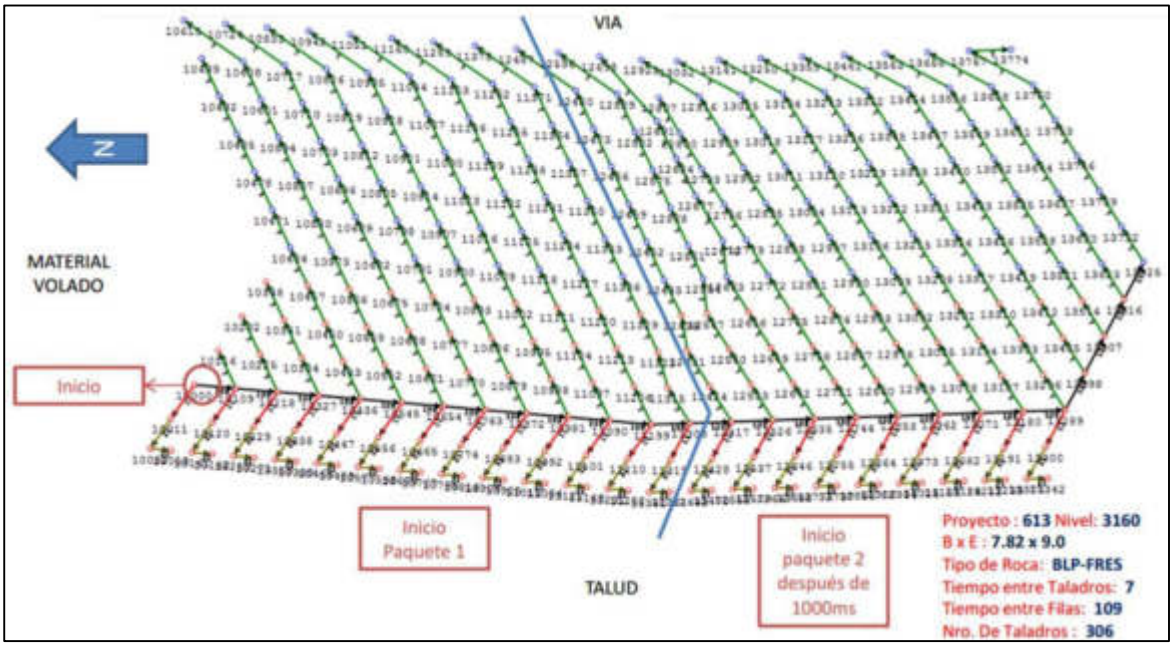


Figura 20. Diseño de Amarre de un Proyecto Cargado con MEQ
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

3.3 MARCO CONCEPTUAL

Tecnología Quantex: Engloba toda la experiencia en ingeniería de explosivos y presenta una solución para cada necesidad de voladura, combina la experiencia y know how de nuestros especialistas con nuestros productos y servicios de alta calidad (EXSA S.A., 2016).

Voladura: Se entiende por voladura a la disposición de un grupo de barrenos, en los que se ha colocado una cierta carga de explosivo y se inicia con una secuencia tal que se consiguen los resultados de fragmentación y desplazamiento, sin afectar a elementos ajenos a la misma (Bernaola et al, 2013, p.139).

Heavy ANFO: El ANFO pesado, que es una mezcla de emulsión base con ANFO, la cual abre una nueva perspectiva en el campo de los explosivos (Yana, 2012, p.25).

Gases nitrosos: Son derivados de diferentes óxidos de nitrógeno. Se encuentra como mezcla en diferentes concentraciones como producto habitual de las voladuras en los frentes. Estos dos gases no se separan nunca en esta situación, por lo que hay que reconocerlos juntos, aunque los porcentajes varíen constantemente (EXSA S.A., 2009, p.345).

CAPITULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1 TIPO Y DISEÑO

4.1.1 Tipo de la Investigación

El presente trabajo de investigación según su finalidad es Aplicativa y el método de manipulación de datos es Cuantitativo, debido a que, los conocimientos de la voladura de rocas han sido aplicados a una determinada realidad y en un determinado periodo de tiempo, una vez realizado la evaluación de los resultados, se busca implementar el uso de la Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible.

4.1.2 Diseño de la Investigación

El diseño de investigación es de tipo explicativo, el tipo de diseño a utilizarse es transversal descriptivo, puesto que se realizarán varias pruebas con el propósito de describir y comparar los resultados que se obtienen utilizando Mezcla Explosiva Quantex con combustible y sin combustible. En el presente trabajo de investigación se ha considerado de acuerdo a sus características particulares tres fases que son:

- Trabajo de campo.

- Trabajo en gabinete.
- Post proceso.

4.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel del proyecto de investigación consiste en un estudio de alcance descriptivo, porque se señala como es, como se manifiesta, como se mide y evalúa los resultados de las voladuras de rocas en la unidad minera Cuajone, se mencionó anteriormente que el propósito del presente proyecto es de describir y estandarizar el uso de Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible determinando las ventajas técnicas, operativas y económicas que puede aportar.

4.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

4.3.1 Variable Independiente

Ventajas técnicas en la utilización de Mezcla Explosiva Quantex sin combustible.

Indicadores:

- Velocidad de detonación
- Fragmentación
- Densidad
- Velocidad de excavación
- Calidad de humos

4.3.2 Variable dependiente

Ventajas económicas en la utilización de Mezcla Explosiva Quantex sin combustible.

Indicadores:

- Costo de la MEQ por metro lineal ($/m)
- Costo de la MEQ por taladro ($/tal)
- Proyección de ahorro ($)

Tabla 6.
Operacionalización de variables.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	HERRAMIENTAS
VARIABLE 1 **Ventajas técnicas en la utilización de Mezcla Explosiva Quantex sin combustible**	Variable independiente	Es el análisis técnico de la Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible que influye en los resultados del proceso de voladura.	Velocidad de detonación (VOD)	Bajo: <5000 m/s Medio: 5000 – 5400 m/s Alto: >5400 m/s	Instrumentación para medir VOD (Equipo MicroTrap)
			Fragmentación	Mineral Regular: P80>7.5 pulg. Buena: P80<7.5 pulg. Desmonte Regular: P80>12 pulg. Buena: P80<12 pulg.	Cámara fotográfica y software para el análisis granulométrico (Software WipFrag)
			Densidad	0.95 – 1.20 gr/cc	Balanza, vaso volumétrico de 1 litro, trapos y espátula para limpieza
			Velocidad de minado	Bajo: <2000 TM/h Medio: 2000 – 4000 TM/h Alto: >4000 TM/h	Registros de producción por palas
			Calidad de humos	Malo: Nivel 2 (2A-2C) Regular: Nivel 1 (1A–1C) Bueno: Nivel 0:	Filmadoras de alta definición
VARIABLE 2 **Ventajas económicas en la utilización de Mezcla Explosiva Quantex sin combustible**	Variable dependiente	Es el análisis económico de la Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible que influye en los resultados del proceso de voladura.	Costo de la MEQ sin combustible por metro lineal ($/m)	Dólares por metro linear de carga explosiva ($/m)	Cálculos
			Costo de la MEQ sin combustible por taladro ($/tal)	Dólares por taladro cargado ($/tal)	Cálculos
			Proyección de ahorro ($)	Margen de ahorro producto de la utilización de Mezcla Explosiva	Cálculos

Fuente: Elaboración propia, 2018

4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

4.4.1 Población

La población está constituida por todos los proyectos de voladura en las distintas fases de la Unidad Minera de Cuajone ejecutadas en el 2018

4.4.2 Muestra

La muestra está constituida por 10 proyectos de voladura realizados con la Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible en las tres fases actuales de minado (F8, F7 y F6B2)

4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

4.5.1 Técnicas

La técnica empleada para la recopilación de la información se efectuó por medio de reportes de trabajo, mediciones directas, y registros.

Se establecieron cinco parámetros de medición que serán comparados con los datos recopilados de la línea base, y con ello determinar las ventajas técnicas, operativas y económicas que puede aportar la utilización de Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible. Cada parámetro ha tenido un procedimiento de medición específico para que los ensayos sean representativos y confiables.

4.5.1.1 Velocidad de detonación (VOD)

Se utilizó el equipo MicroTrap para medir la velocidad de detonación (VOD) en taladros. Este permite medir la VOD de un taladro por proyecto de voladura por el método

de corto circuito. Es posible medir dos o más taladros, pero da la posibilidad de cortes y fallas en la medición.

El método consiste en medir la disminución de la resistencia de un circuito, a medida que el frente de detonación consume un cable resistivo. Esto se logra mediante la instalación de un cable de resistencia continuo (cable resistivo) cuya resistencia lineal es conocida (para este caso 10.8 ohm/m). El cable se adhiere al booster o iniciador y se extiende a lo largo de la columna explosiva. A medida que el frente de detonación del explosivo consume el cable resistivo, la resistencia del corto circuito disminuirá en proporción a la reducción del largo del cable. De esta manera el MicroTrap registra la disminución resultante del voltaje en comparación con el tiempo. El software convierte los datos registrados en un gráfico de distancia versus tiempo. La gradiente de este gráfico es la velocidad de detonación.

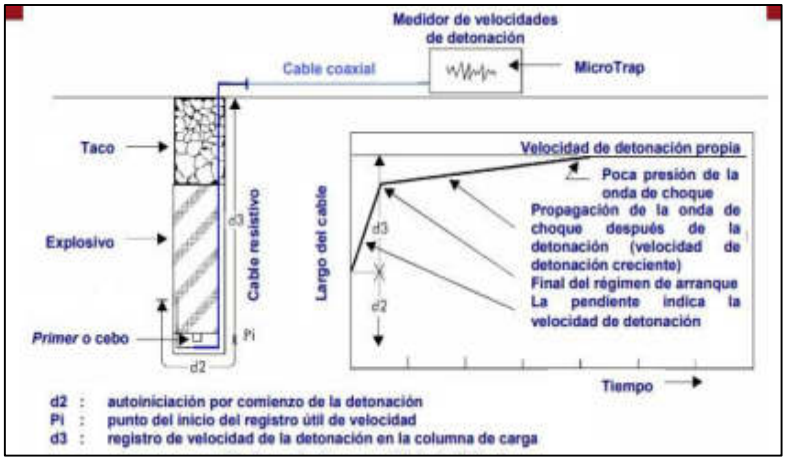


Figura 21. Método de medición de velocidad de detonación
Fuente: Manual de Practico de Voladura (EXSA, 2009)

4.5.1.2 Densidad

Esta propiedad se determinó midiendo la masa dentro de un volumen conocido. En el caso de un explosivo que no

gasifica, su densidad es constante y basta con tomar una muestra durante la descarga al taladro.

Para el caso de la Mezcla Explosiva Quantex, es importante medir la densidad inicial y la final (tras 20 minutos de esponjamiento). Primero, se toma una muestra en el vaso volumétrico directamente de la manga de descarga, rápidamente se limpia el material que quede fuera del depósito y se pesa. Se controla veinte minutos, se elimina el material que rebalsa el vaso volumétrico (producto de la gasificación) y se vuelve a pesar. Se recomienda medir la densidad cada 5 minutos para cuantificar el proceso de esponjamiento.

A continuación, se presentan los materiales necesarios para realizar la medición, los cuales forman parte de un kit obligatorio que tiene que tener cada camión mezclador:

- Balanza Calibrada
- Vaso volumétrico de 1 litro
- Trapos y espátula para limpieza



Figura 22. Medición de densidad de MEQ
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2016)

4.5.1.3 Fragmentación

Se utilizó el software Split On Line, que nos permite analizar fragmentación a tiempo real producto de las voladuras en mina y correlaciona otros resultados como la velocidad de minado de las palas. Se tiene instalado cámaras al costado de la cabina en todas las palas y una cámara en la chancadora primaria donde está la descarga de trenes.

La medición de la fragmentación de manera sistematizada, nos proporciona un aproximado de 2000 fotos por día (fotos que son tomadas en cada cucharon de pala que descarga en los volquetes) y son analizadas en tiempo real, de 59 forma continua y vía online. Esto nos proporcionara una data más confiable y una mejor evaluación de la granulometría, con la que podemos medir nuestros logros y trazar objetivos con respecto a la fragmentación.



Figura 23. Cámaras Slip On Line en Pala y Chancadora
Fuente: Departamento de Perforación y Voladura - Mina Cuajone

4.5.1.4 Velocidad de minado

Para evaluar la velocidad de minado de los equipos de carguío, se debe tener en cuenta que un factor influyente son los elementos externos al minado, como son: las

condiciones climáticas, disponibilidad de equipos, calidad de material volado, condiciones de seguridad, entre otros. Para caso del presente estudio se decidió evaluar la productividad de los equipos con data histórica y con datos que alcanzaron los equipos durante el momento de las pruebas con Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible.

La información en cuanto a velocidad de minado fue solicitada al área de Operaciones-Mina, quienes brindaron data histórica la cual fue depurada y resumida para los polígonos cargados con los explosivos en estudio. El dig-rate o tasa de excavación se calcula de la siguiente manera:

VE = TM / TCP

VE: Velocidad de excavación.

TM: Toneladas minadas

TCP: Tiempo cargando de la pala

Cabe mencionar que este valor depende directamente de la densidad y cohesión del material, calidad de la voladura, habilidad del operador, entre otros factores que afectan el dig-rate de los equipos.

4.5.1.5 Calidad de Humos

Para evaluar la cantidad de Gases Nitrosos generados en los proyectos de voladura dependerá de la distancia del observador al punto de detonación y las condiciones climáticas. La siguiente tabla, junto con la tabla de colores detalla cómo se pueden evaluar los Gases Nitrosos de una voladura superficial.

Level	Typical Appearance
Level 0 No NOx gas	
Level 1 Slight NOx gas	
1A Localised	
1B Medium	
1C Extensive	
Level 2 Minor yellow/orange gas	
2A Localised	
2B Medium	
2C Extensive	
Level 3 Orange gas	
3A Localised	
3B Medium	
3C Extensive	
Level 4 Orange/red gas	
4A Localised	
4B Medium	
4C Extensive	
Level 5 Red/purple gas	
5A Localised	
5B Medium	
5C Extensive	

Figura 24. Calificación visual Gases Nitrosos

Fuente: Australian Explosives Industry And Safety Group Inc

.

Los La intensidad de los Gases Nitrosos producidos se debe medir en una simple escala de 0 a 5 según la Tabla 11. La extensión de los gases NOx también necesita ser evaluado y esto se realizará en una escala de A - C donde:

A = Localizado (Es decir, los Gases Nitrosos son generados a partir de unos taladros de explosión)

B = Medio (Es decir, los Gases Nitrosos son generados de hasta el 50% de los taladros)

C = Extensivo (es decir, una amplia generación Gases Nitrosos en toda la explosión)

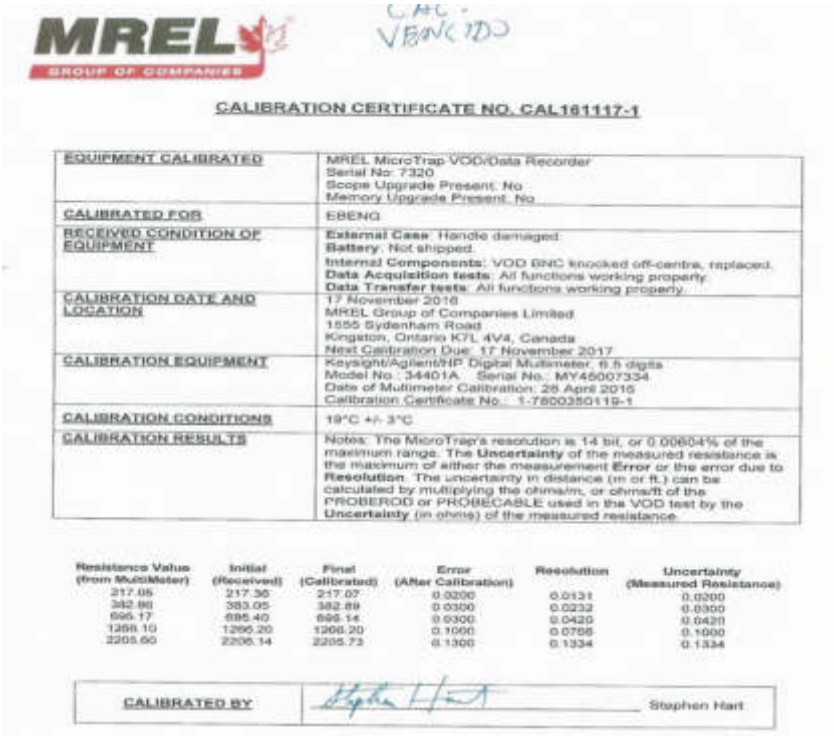
4.5.2 Instrumentos

Detalle de los instrumentos que se utilizaran en el presente trabajo de investigación.

- Equipo MicroTrap para medir la velocidad de detonación (VOD) en los taladros.
- Balanza y vaso volumétrico de 1 litro para medir la densidad del explosivo en laboratorio y campo.
- Software WipFrag y Split On Line para medir la fragmentación de los disparos.
- Registros de la velocidad de minado de las palas en tiempo real.
- Tabla de valoración de Gases Nitrosos para medir la calidad de humos.

4.6 VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

Los instrumentos utilizados en el presente proyecto de investigación se encuentran calibrados y estandarizados para evitar sesgos y cumplen con los tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad.



MREL GROUP OF COMPANIES

CALIBRATION CERTIFICATE NO. CAL161117-1

EQUIPMENT CALIBRATED	MREL MicroTrap VOD/Data Recorder Serial No: 7320 Scope Upgrade Present: No Memory Upgrade Present: No
CALIBRATED FOR	EBENG
RECEIVED CONDITION OF EQUIPMENT	**External Case**: Handle damaged. **Battery**: Not shipped. **Internal Components**: VOD BNC knocked off-centre, replaced. **Data Acquisition tests**: All functions working properly. **Data Transfer tests**: All functions working properly.
CALIBRATION DATE AND LOCATION	17 November 2016 MREL Group of Companies Limited 1555 Sydenham Road Kingston, Ontario K7L 4V4, Canada Next Calibration Due: 17 November 2017
CALIBRATION EQUIPMENT	Keysight/Agilent/HP Digital Multimeter, 6.5 digits Model No.: 34401A Serial No.: MY45007334 Date of Multimeter Calibration: 26 April 2016 Calibration Certificate No.: 1-7800350119-1
CALIBRATION CONDITIONS	19°C +/- 3°C
CALIBRATION RESULTS	Notes: The MicroTrap's resolution is 14 bit, or 0.00604% of the maximum range. The **Uncertainty** of the measured resistance is the maximum of either the measurement **Error** or the error due to **Resolution**. The uncertainty in distance (m or ft.) can be calculated by multiplying the ohms/m, or ohms/ft of the PROBEROD or PROBECABLE used in the VOD test by the **Uncertainty** (in ohms) of the measured resistance.

Resistance Value (from MultiMeter)	Initial (Received)	Final (Calibrated)	Error (After Calibration)	Resolution	Uncertainty (Measured Resistance)
217.05	217.36	217.07	0.0200	0.0131	0.0200
382.90	383.05	382.89	0.0300	0.0232	0.0300
695.17	695.40	695.14	0.0300	0.0420	0.0420
1266.10	1266.20	1266.20	0.1000	0.0766	0.1000
2205.60	2206.14	2205.73	0.1300	0.1334	0.1334

CALIBRATED BY	Stephen Hart

Figura 25. Certificado de calibración del MicroTrap
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)



Calibration Certificate

Part Number: 720A2001
Description: Series IV ISEE 2-250 Hz Geo

Serial Number: SE13645
Calibration Date: NOV 0 2 2017
Calibration Equipment: 714J7402

Instantel certifies that the above product was calibrated in accordance with the applicable Instantel procedures. These procedures are part of a quality system that is designed to assure that the product listed above meets or exceeds Instantel specifications.

Instantel further certifies that the measurement instruments used during the calibration of this product are traceable to the National Institute of Standards and Technology; or National Research Council of Canada. Evidence of traceability is on file at Instantel and is available upon request.

The environment in which this product was calibrated is maintained within the operating specifications of the instrument.

Please note that the sensor check function is intended to check that the sensors are connected to the unit, installed in the proper orientation and sufficiently level to operate properly. This function should not be confused with a formal calibration, which requires the sensors be checked against a reference that is traceable to a known standard. Instantel recommends that products be returned to Instantel or an authorized service and calibration facility for annual calibration.

Calibrated By: Ninh Nguyen

Instantel

Figura 26. Certificado de calibración del Sismógrafo
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)



CERTIFICADO DE CALIBRACION 01-03937

AGOSTO 09 , 2017 Pg 1/1

ARSA

EQUIPO	VISCOSIMETRO
MODELO	RVDV2T
SERIE	8660164
MARCA	BROOKFIELD
CODIGO DE CLIENTE	.....
CLIENTE	EXSA S.A.
DIRECCION	CALLE LAS BEGONIAS Nº 415 PISO 12 - SAN ISIDRO
AREA	.....
PATRON DE REFERENCIA	SOLUCION PATRON DE VISCOSIDAD

I. CALIBRACION

Spindle/ Aguja: 06
Temperatura: 25°C
Solucion Patron: Brookfield 30,240.0 cP @25°C, Lote 08988

Velocidad (rpm)	RANGO ACEPTABLE cP		RESULTADOS		
	Bajo	Alto	Lectura - cP	Torque - %	Tipo
5	27,468	32,940	30,200	65.7%	CONFORME
10	28,838	31,542	30,200	80.3%	CONFORME
20	28,428	31,062	30,250	80.5%	CONFORME
50	29,604	30,876	30,300	80.9%	CONFORME

II. RESULTADOS

- Los lecturas de este instrumento se encuentra dentro del 1% del contenido instrumento-spindle y al 1% del valor del estándar de viscosidad para todas las velocidades evaluadas, conforme a lo estipulado por Fábrica.
- Certificamos que el instrumento ha sido calibrado/verificado según el procedimiento indicado por el fabricante se empleando spindle(s) y las lecturas obtenidas se encuentran dentro de los rangos aceptables de acuerdo a las características del instrumento.
- Los resultados son válidos solo para el instrumento calibrado y/o verificado y corresponden al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones; el usuario debe verificar los lecturas del instrumento a intervalos apropiados con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones.

Ing. Percy Ramos
Servicio Técnico

Carlos A. Nuñez
Gerente General

Figura 27. Certificado de calibración del Viscosímetro
Fuente: Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº 944-2017

Página: 1 de 3

1. SOLICITANTE:	EXSA SA	
RUC	20100094135	
Dirección	Calle Las Begonias 415 Piso 12 SAN ISIDRO – LIMA	
2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Balanza	
Tipo	Electrónica	
Marca	TSCALE	
Modelo	T28-III-25	
Nº de serie	0ET221177004	
Procedencia	CHINA	
Alcance de realización	15 Kg	
Division de escala (d)	1 g	
Division de verificación (e)	1 g	
Clase de exactitud	II (FINA)	
3. FECHA DE CALIBRACIÓN:	2017-09-01	

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales de la DM-INACAL o internacionales, los que realizan las unidades de acuerdo con el sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados del presente documento son validos solo para el equipo calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.

El usuario está obligado recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados, según el uso, mantenimiento y conservación del instrumento.

La empresa no se responsabiliza por el uso inadecuado del instrumento, ni de la incorrecta interpretación de los resultados declarados en este documento.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN: Instalaciones de la empresa

5. METODO DE CALIBRACIÓN:
La calibración se efectuó tomando como referencia el Procedimiento PC-011 "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático, clase I y II.

6. TRAZABILIDAD:
Los resultados declarados en este documento tienen trazabilidad a los patrones Nacionales de la Dirección de Metrología DM-INACAL

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de Referencia de la DM-INACAL	Juego de Pesas de 1mg a 1Kg	LM-C-144-2017
	Juego de Pesas de 1g a 1Kg	LM-C-144-2017
	Pesa patrón de 1 Kg	LM-C-141-2017
	Pesa patrón de 2 Kg	LM-104-2017 / LM-105-2017
	Pesa Patrón de 5 Kg	LM-106-2017
	Termohigrometro / Barometro	LT-147-2017 / LFP-083-2017

7. OBSERVACIONES:
- Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en las páginas siguientes del presente documento.
- La incertidumbre de medición ha sido determinada según la GUÍA PARA LA EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE; con un factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza del 95%.
- Las desviaciones encontradas durante la calibración han sido corregidas y son menores a los Errores Máximos Permitidos (emp), establecidos en la NMP-003-2009, para este medio de medición.
- Este Certificado de Calibración cumple con los requisitos técnicos de la Norma Técnica Peruana NTP ISO/IEC 17025:2006 "Requisitos generales para la competencia de laboratorios de Ensayo y Calibración
- Con fines de identificación se ha colocado un stiker en señal de calibrado.

SERVITECC E.I.R.L.

ING. CARLOS BALDARRAGO RODRIGUES
GERENTE TECNICO
SERVITECC E.I.R.L.

Figura 28. Certificado de calibración de la balanza electrónica
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

4.7 MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATO

4.7.1 Métodos

En el presente trabajo de investigación el método de investigación más adecuado bajo el cual se planteó es la herramienta de mejora DMAIC, la cual se basa en una mejora continua a partir de la recolección de datos. Este proceso DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) ha definido la estructura de la investigación. Primero se definió el problema a mejorar, posteriormente se dio la medición, donde se elaboró una línea base con información histórica y se realizaron pruebas en campo con el nuevo producto en estudio, a continuación, se analizaron los resultados obtenidos y finalmente se procedió a tomar las medidas de control necesarias para que el estudio perdure en el tiempo dando los resultados esperados.

4.7.2 Técnicas de análisis de datos

4.7.2.1 Observación Directa

Se observará el reporte de los Software de análisis que se utilizaron, también la productividad de las palas, con la finalidad de verificar los resultados de los cinco parámetros de medición establecidos.

4.7.2.2 Análisis Estadístico

Se determinará los análisis estadísticos de los valores promedios de los datos obtenidos, verificar si la voladura ha sido eficiente, llevando un registro y control de todos los resultados de la voladura.

4.7.2.3 Análisis Descriptivo

Se realizará un análisis sobre la influencia que tiene la aplicación de procedimientos logrando obtener reportes diarios para el análisis subsiguiente.

4.7.2.4 Presentación

Se recolectarán la mayor cantidad de datos, se tabularán los datos, se realizará un análisis detallado y finalmente se presentarán en forma de gráficos estadísticos y cuadros resumen que permitan el mejor entendimiento de la presente investigación.

CAPITULO V

PRESENTACION Y NALISIS DE RESULTADOS

5.1. PRESENTACION DE RESULTADOS

Los resultados del performance de los explosivos se han dividido en dos secciones. Primero se tiene la línea base, que consistió en la recolección de información respecto a eventos pasados y actuales de Mezcla Explosiva Quantex en todas sus mezclas utilizadas en la operación (MEQ73, MEQ75-25, MEQ82). La segunda parte consiste en los resultados que se obtendrán de las pruebas de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible.

5.1.1. Línea Base – Mezcla Explosiva Quantex Estándar

5.1.1.1. Densidad

Se realizaron mediciones de Densidad inicial en laboratorio y Densidad final en el proyecto de carguío para determinar y evaluar el performance de las diferentes mezclas usadas en los proyectos disparados.

Tabla 7.
Densidad Inicial y Final de la MEQ Estándar

MEQ	Emulsión (%)	Anfo Quantex (%)	Densidad Inicial (gr/cc)	Densidad Final (gr/cc)
MEQ73	70	30	1.375	1.10
				1.15
MEQ 75-25	75	25	1.355	1.10
				1.15
MEQ82	80	20	1.365	1.10
				1.15

Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

5.1.1.2. Velocidad de Detonación

Las pruebas de medición de VOD se han realizado en mezclas con densidad de copa final 1.10 gr/cc (para dar mayor sensibilidad) empleados en terrenos con dureza suave, media a dura. Pero para mezclas con rocas de dureza muy alta se ha usado densidad de copa 1.15 gr/cc como es el caso de los proyectos de fase 6A, y proyectos de la Fase 6B2 Norte

Tabla 8.
Velocidad de Detonación de la MEQ Estándar

MEQ	DENSIDAD (gr/cc)		VOD (m/s)	
	Inicial	Final	Teorico	Real
MEQ73	1.375	1.10	4000 - 6000	5240.00
		1.15		5386.00
MEQ 75-25	1.355	1.10	4000 - 6000	5219.00
		1.15		5350.00
MEQ82	1.365	1.10	3000 - 6000	5415.00
		1.15		5698.00

Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

5.1.1.3. Fragmentación

Se muestran los resultados de fragmentación del frente de minado de las palas (mineral y desmonte). Los registros obtenidos son analizados, tanto en el sistema

Split instalados en los equipos y en gabinete con el software Wip Frag.

Tabla 9.
Fragmentación por Palas de la MEQ Estándar

FRAGMENTACIÓN POR PALAS CON MEQ ESTANDAR					
	FRAGMENTACIÓN MINERAL		FRAGMENTACIÓN DESMONTE		
FECHA	PALA 1 P80 (plg)	PALA 6 P80 (plg)	PALA 3 P80 (plg)	PALA 4 P80 (plg)	PALA 5 P80 (plg)
Ene	7.45	7.42	9.28	8.50	8.55
feb	7.12	7.42	8.34	10.90	8.46
Mar	7.42	7.45	9.09	11.22	9.30
Abr	7.45	7.32	9.35	11.43	8.94
May	7.35	7.37	11.84	11.93	11.06
Jun	6.98	7.00	8.56	11.00	9.25
Jul	7.16	7.21	9.56	12.03	8.96
Ago	7.10	6.98	9.45	13.04	9.44
Sep	7.01	7.15	8.46	11.48	9.52
Promedio	**7.23**	**7.26**	**9.32**	**11.28**	**9.28**

Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

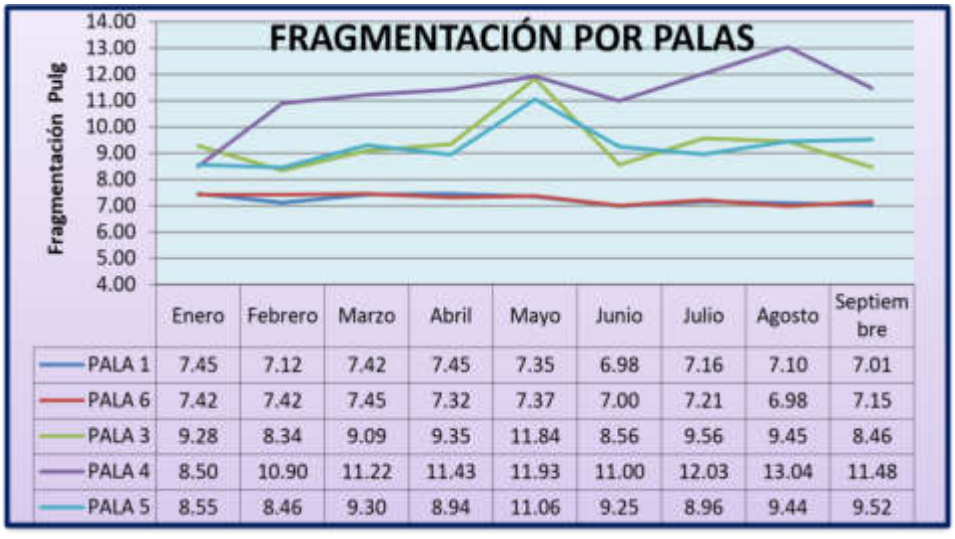


Figura 29. Registro de fragmentación mensual por palas de la MEQ Estándar
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Fragmentación en Mineral: De los registros de fragmentación de los frentes de minado en la zona de mineral, se obtiene un P(80) promedio de 7.24 pulg. En las siguientes gráficas se muestra la fragmentación mensual de mineral por palas:

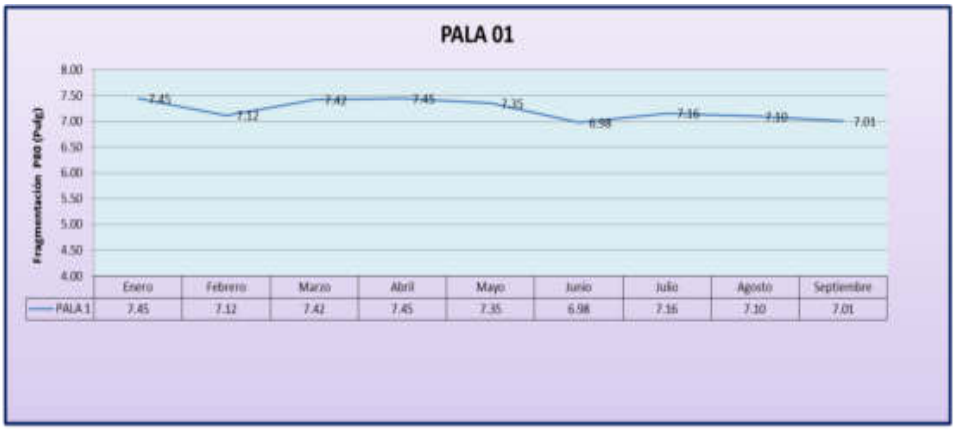


Figura 30. Registro de fragmentación mensual de la Pala 01 – MEQ Estándar
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

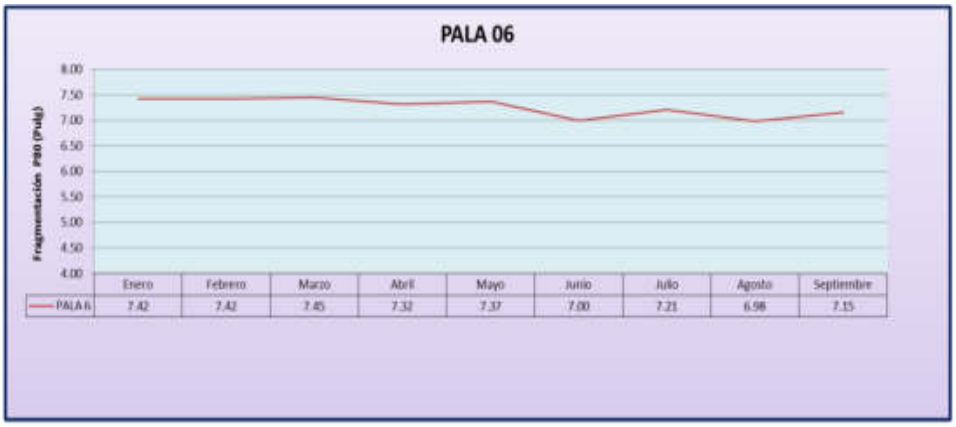


Figura 31. Registro de fragmentación mensual de la Pala 06 - MEQ Estándar
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Fragmentación en Desmonte: Se registra un P(80) promedio de 9.96 pulg. en la zona de desmonte. En las siguientes gráficas se muestra la fragmentación mensual por palas.

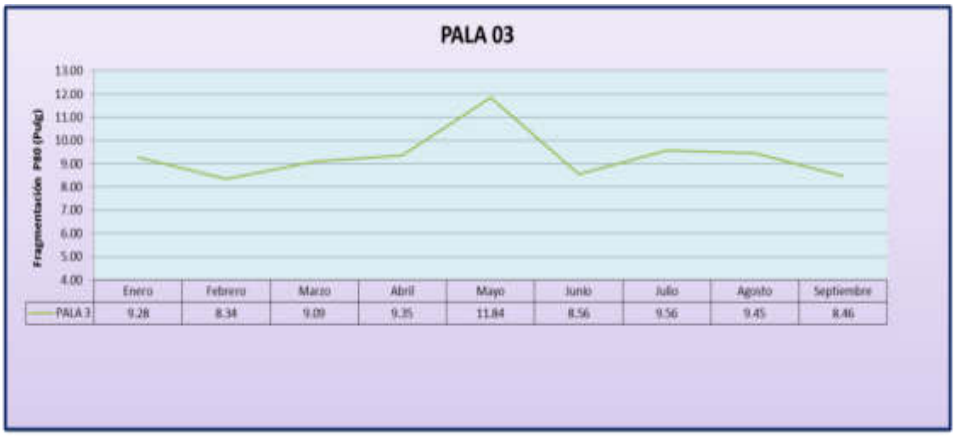


Figura 32. Registro de fragmentación mensual de la Pala 03 - MEQ Estándar
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

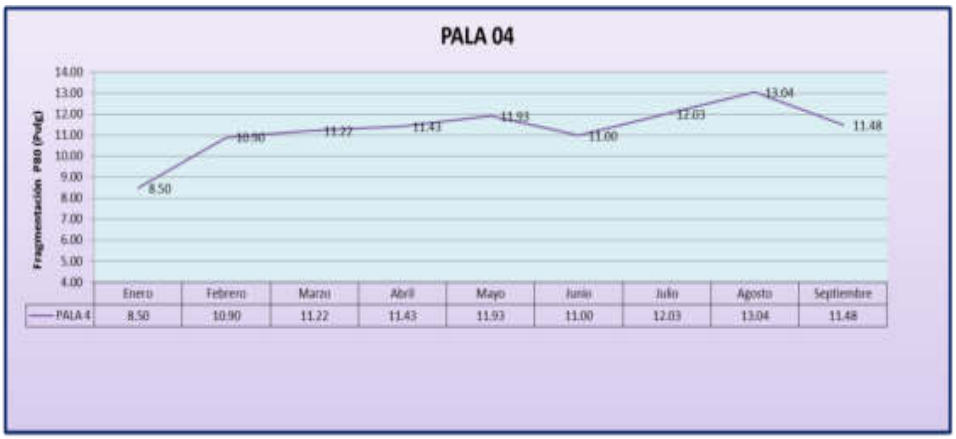


Figura 33. Registro de fragmentación mensual de la Pala 04 - MEQ Estándar
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

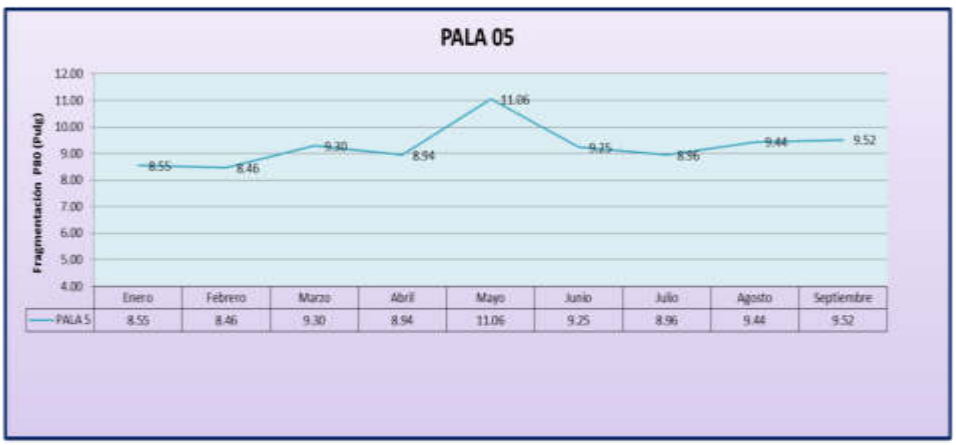
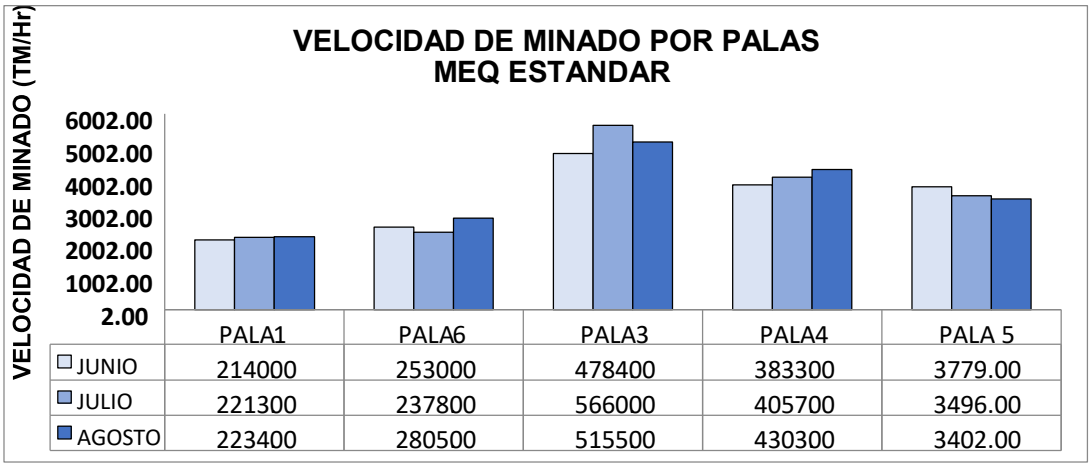


Figura 34. Registro de fragmentación mensual de la Pala 05 - MEQ Estándar
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

5.1.1.4. Velocidad de Minado

Registro mensual de la velocidad de minado de las palas utilizando la MEQ Estándar.



	PALA1	PALA6	PALA3	PALA4	PALA 5
JUNIO	214000	253000	478400	383300	3779.00
JULIO	221300	237800	566000	405700	3496.00
AGOSTO	223400	280500	515500	430300	3402.00

Figura 35. Registro de la velocidad de minado de las palas – MEQ Estándar
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

5.1.1.5. Calidad de Humos

Con la data histórica se estableció un cuadro de generación de humos naranja por tipo de roca, para realizar la comparación con los proyectos disparos durante la etapa de prueba.



Figura 36. Generación de Humos Naranja Por Tipo de Roca
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

5.1.2. Resultados de Prueba – Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible

Con la línea base establecida, se procedió a realizar las pruebas con la nueva Mezcla Explosiva para determinar sus cualidades y características. Este nuevo agente explosivo se comparará con la Mezcla Explosiva Quantex Estándar (Con Combustible) que se utilizan actualmente en la operación. Los resultados corresponden al periodo de pruebas (junio, julio y agosto).

5.1.2.1. Densidad

En la siguiente tabla se muestra los resultados de la densidad inicial de la Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible.

Tabla 10.
Densidad Inicial y Final de la MEQ sin Combustible

MEQ	Emulsión (%)	Anfo Quantex (%)	Densidad inicial (gr/cc)	Densidad Final (gr/cc)
MEQ73	70	30	1.375	1.10
				1.15
MEQ75-25	75	25	1.354	1.10
				1.15
MEQ82	80	20	1.366	1.10
				1.15

Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

5.1.2.2. Velocidad de Detonación

Los resultados obtenidos de las pruebas de la Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible en cuanto a velocidades de detonación están detallados en la siguiente tabla. Cada prueba de densidad corresponde al mismo taladro con el cual se hace la medición de velocidad de detonación.

Tabla 11.
Velocidad de Detonación de la MEQ sin Combustible

MEQ	DENSIDAD (gr/cc)		VOD (m/s)	
	Inicial	Final	Teorico	Real
MEQ73	1.375	1.10	4000 - 6000	5242.00
		1.15		5388.00
MEQ 75-25	1.354	1.10	4000 - 6000	5220.00
		1.15		5352.00
MEQ82	1.366	1.10	3000 - 6000	5418.00
		1.15		5699.00

Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Mezcla Explosiva Quantex 70/30 (MEQ 70/30): Básicamente la MEQ 70/30 se ha empelado en fase 6B2 en su totalidad, con densidad de copa 1.10 gr/cc, y en menor proporción en fase 7 y 8. Se registró un VOD promedio de 5242.0 m/s, el cual está dentro del rango de dicha mezcla; y como resultado de las voladuras se aprecia buena fragmentación.

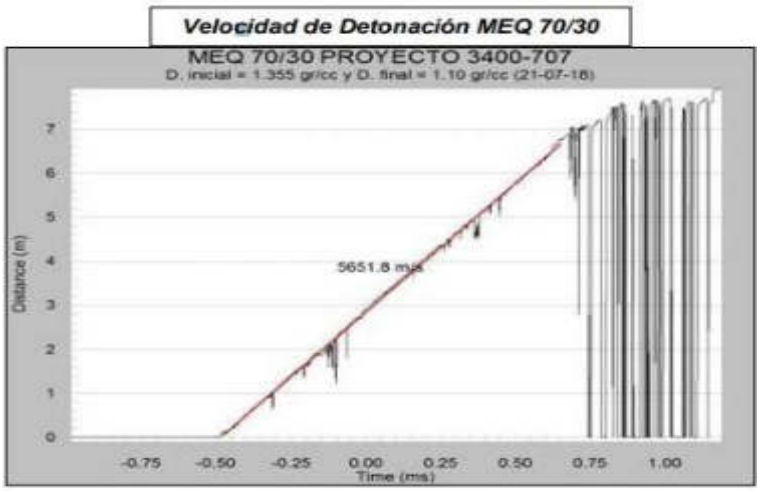


Figura 37. Registro de Velocidad de Detención MEQ73 sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Mezcla Explosiva Quantex 75/25 (MEQ 75/25): Esta mezcla se ha usado en fase 7, con densidad de copa

1.10 gr/cc. Se registró un VOD promedio de 5210.0 m/s, el cual está dentro del rango de dicha mezcla; y como resultado de las voladuras se aprecia buena fragmentación.

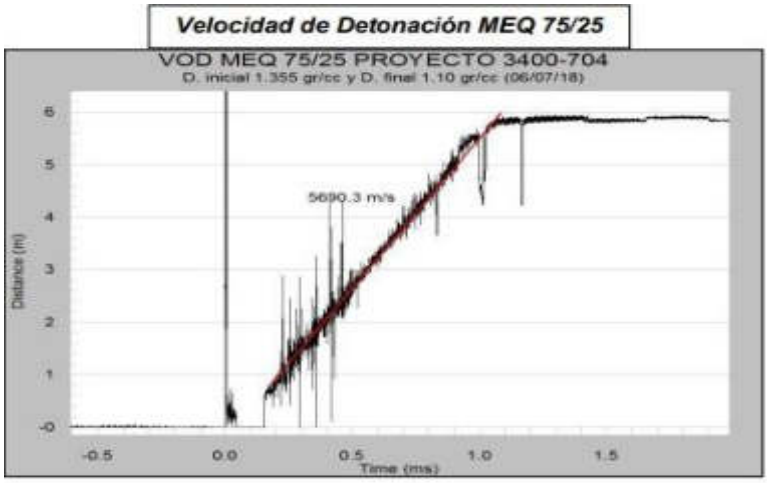


Figura 38. Registro de Velocidad de Detención MEQ75-25 sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Mezcla Explosiva Quantex 80/20 (MEQ 80/20): Se ha realizado una prueba de VOD de mezcla 80/20 con densidad de copa 1.10 gr/cc, mezcla que se usa en los proyectos de 8 en su mayoría y en otras fases en zonas de cresta, material volado y relleno. Se determinó un VOD promedio de 5418.0 m/s, valor que está dentro de los promedios de dicha mezcla.

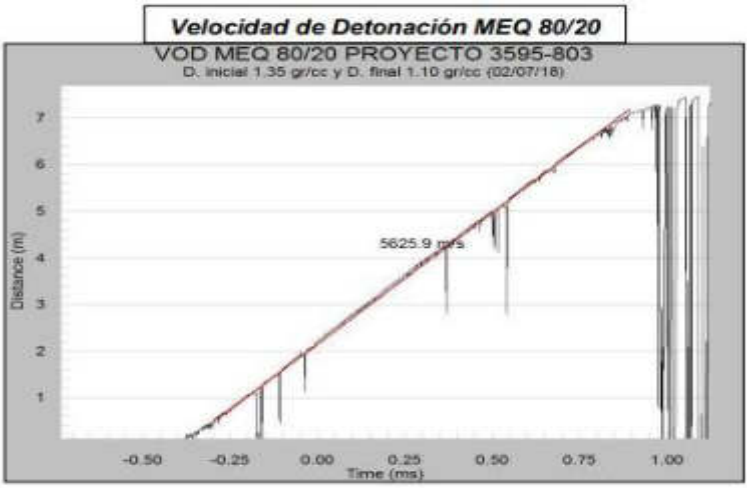


Figura 39. Registro de Velocidad de Detención MEQ82 sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Las pruebas de medición de VOD se han realizado en mezclas con densidad de copa final 1.10 gr/cc (para dar mayor sensibilidad) empleados en terrenos con dureza suave, media a dura. Pero para mezclas con rocas de dureza muy alta se ha usado densidad de copa 1.15 gr/cc como es el caso de los proyectos de fase 6A y 5A

5.1.2.3. Fragmentación

Se muestran los resultados de fragmentación del frente de minado de las palas (mineral y desmonte) utilizando la Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible

Tabla 12.
Fragmentación por Palas de la MEQ sin Combustible

FRAGMENTACIÓN POR PALAS CON MEQ SIN COMBUSTIBLE					
	FRAGMENTACIÓN MINERAL		FRAGMENTACIÓN DESMONTE		
FECHA	PALA 1 P80 (plg)	PALA 6 P80 (plg)	PALA 3 P80 (plg)	PALA 4 P80 (plg)	PALA 5 P80 (plg)
Jun	6.99	7.20	8.55	11.02	9.27
Jul	7.14	7.20	9.57	12.01	8.95
Ago	7.11	6.99	9.44	13.02	9.43
Promedio	**7.08**	**7.13**	**9.19**	**12.02**	**9.22**

Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

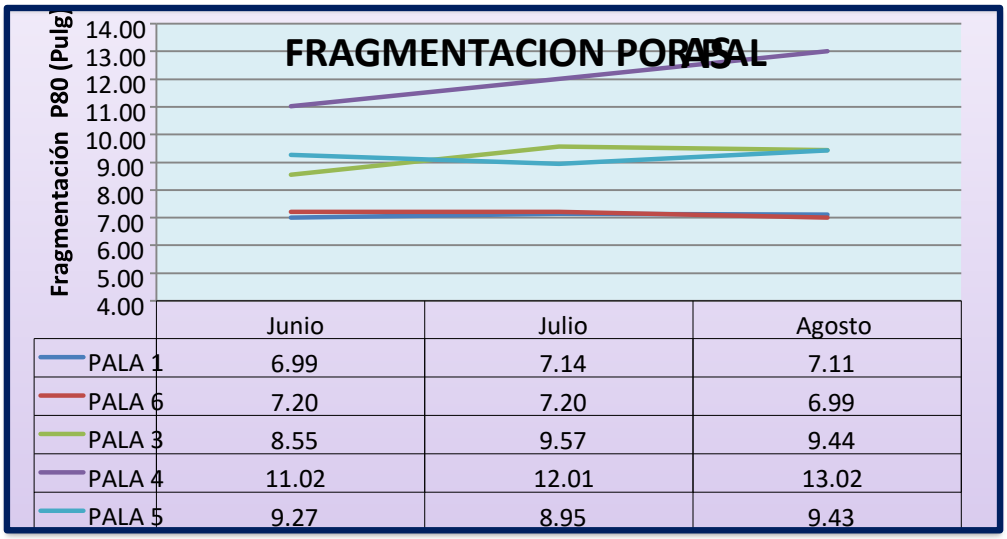


Figura 40. Registro de fragmentación mensual por palas de la MEQ sin Combustible

Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Fragmentación en Mineral: De los registros de fragmentación de los frentes de minado en la zona de mineral, se obtiene un P(80) promedio de 7.07 pulg. En las siguientes gráficas se muestra la fragmentación mensual de mineral por palas:

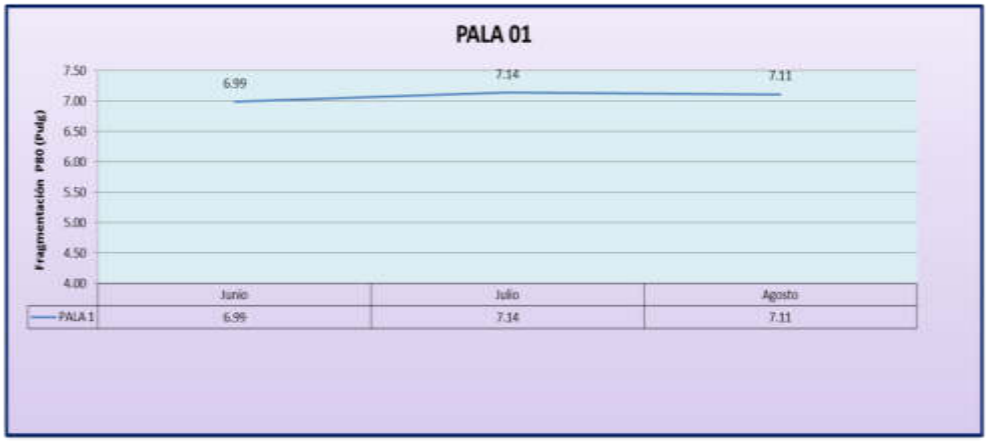


Figura 41. Registro de fragmentación de la Pala 01 – MEQ sin Combustible

Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

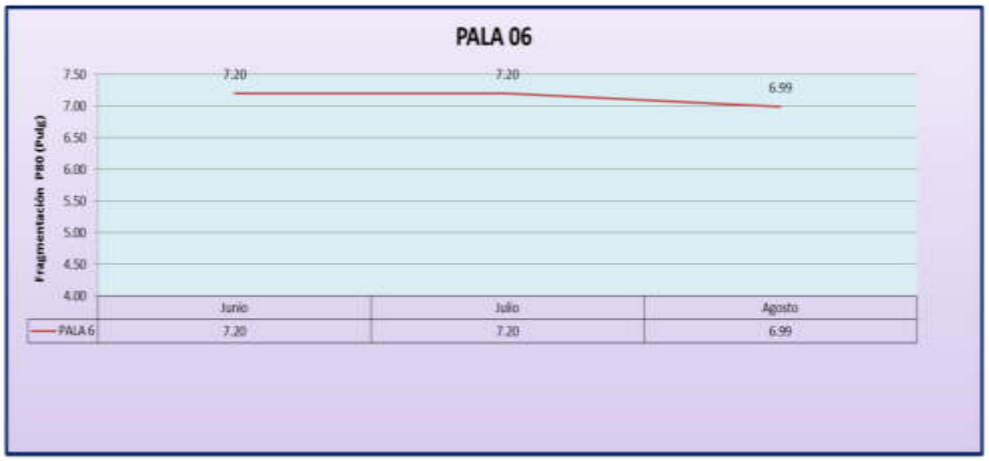


Figura 42. Registro de fragmentación de la Pala 06 – MEQ sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Resultados en Desmonte: El P(80) para Palas en material de desmonte están en 10.14 pulg. en promedio. En las siguientes gráficas se muestra la fragmentación mensual de desmonte por palas:

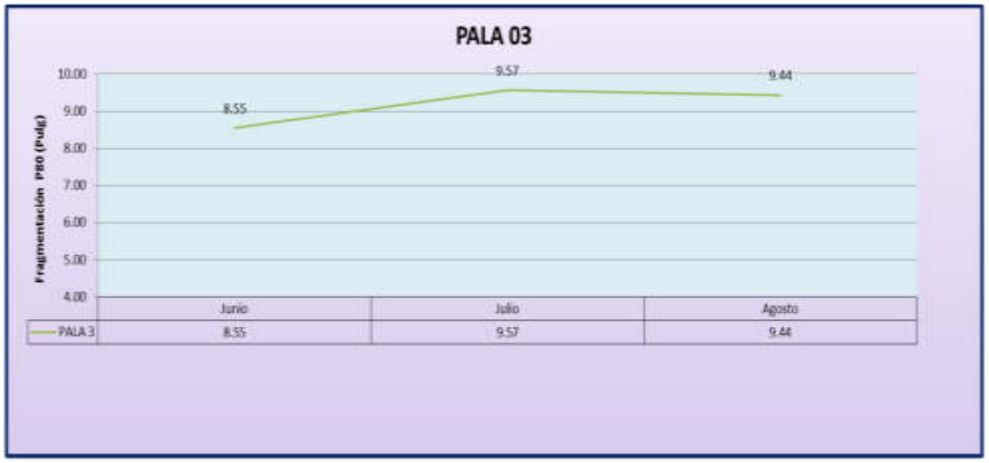


Figura 43. Registro de fragmentación de la Pala 03 – MEQ sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

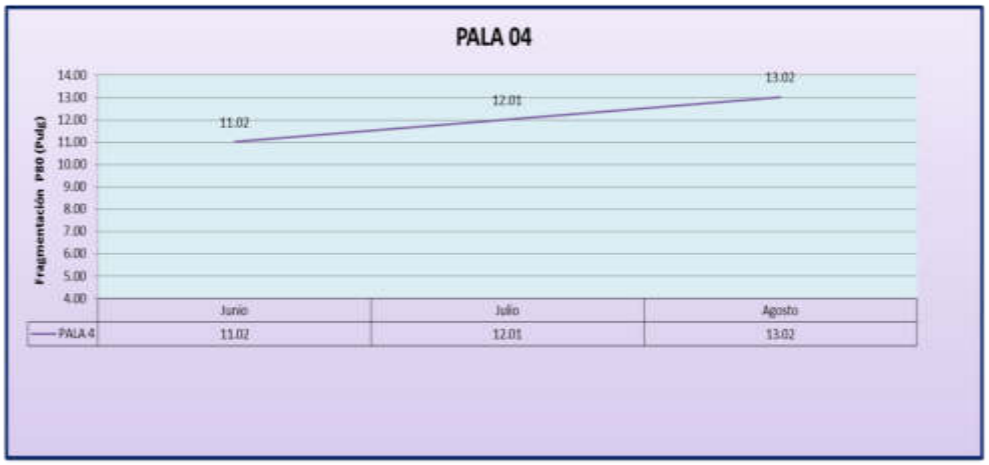


Figura 44. Registro de fragmentación de la Pala 04 – MEQ sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

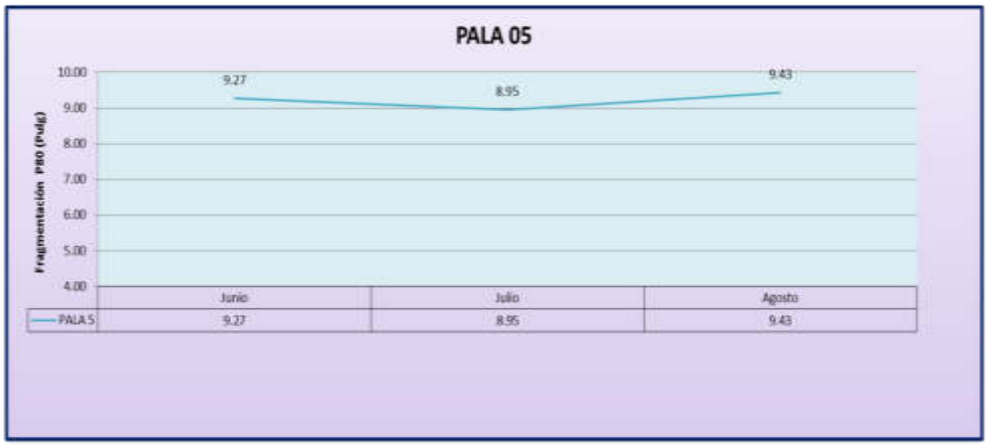
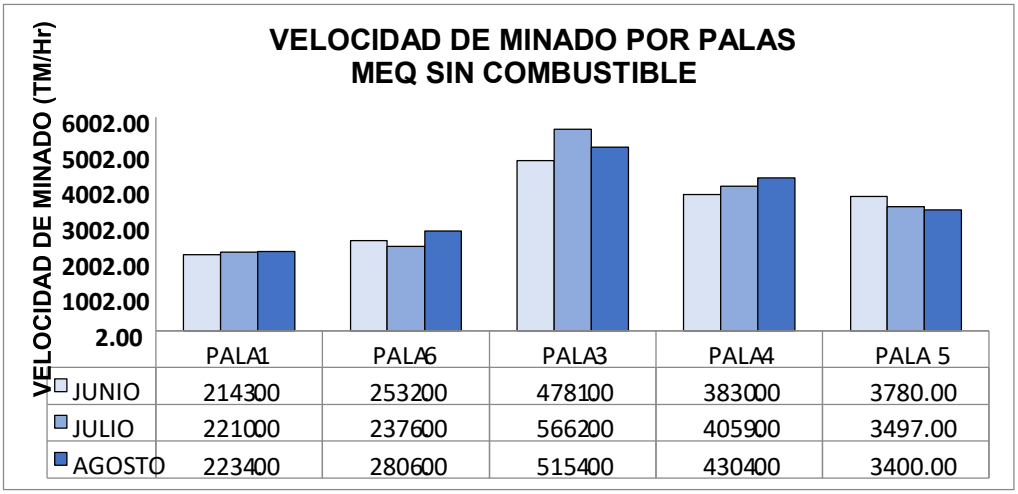


Figura 45. Registro de fragmentación de la Pala 04 – MEQ sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

5.1.2.4. Velocidad de Minado



	PALA1	PALA6	PALA3	PALA4	PALA 5
JUNIO	214300	253200	478100	383000	3780.00
JULIO	221000	237600	566200	405900	3497.00
AGOSTO	223400	280600	515400	430400	3400.00

Figura 46. Registro mensual de la velocidad de minado de las palas– MEQ sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

5.1.2.5. Calidad de Humos

Registro de generación de humos naranja utilizando Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible.

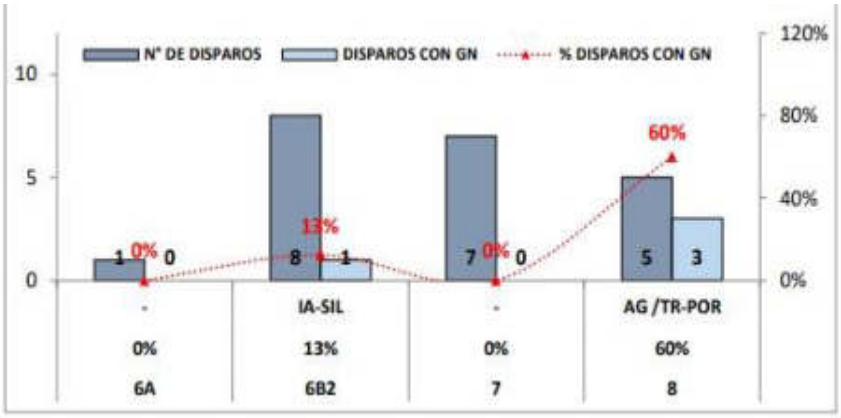


Figura 47. Registro de calidad de humos del mes de Julio por fases – MEQ sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Según la tabla, se tiene mayor incidencia de gases nitrosos en la fase 8, se registran 3 disparos con presencia de Gases Nitrosos

En fase 6B2, se registró un disparo con presencia de Gases Nitrosos, principalmente se generó en zona de cresta, teniendo como nivel 1C.

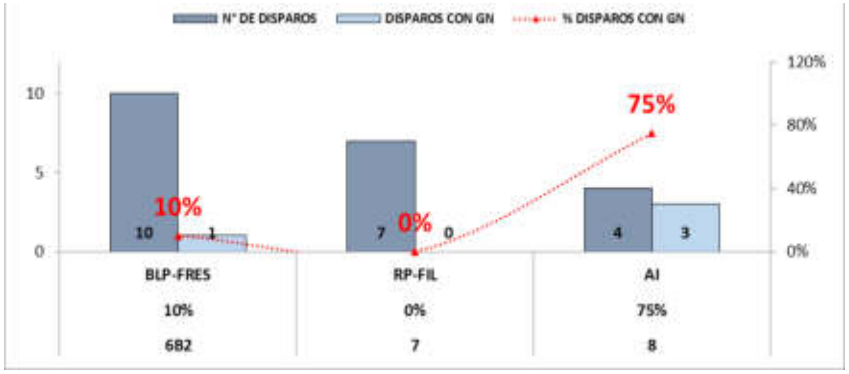


Figura 48. Registro de calidad de humos del mes de Agosto por fases – MEQ sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

En fase 6B2 Y 7, no se ha tenido generación de gases nitrosos, salvo un disparo en fase 6B2 donde se generó en forma puntual, teniendo como nivel 1A, en zona de cresta.

En fase 8, debido a la presencia de roca Aglomerado inferior se ha tenido gases nitrosos de alta intensidad, sumado a esto el uso de mezcla 70/30, donde antes se usaba mezcla 80/20.

5.2. ANALISIS DE RESULTADOS

En esta sección se discuten las diferencias y similitudes que se encontraron en el desempeño de los explosivos en evaluación. Se analizó la información recopilada en la línea base y en la etapa de pruebas donde se experimentó con la nueva Mezcla Explosiva. Los puntos centrales de comparación son: Densidad, velocidad de detonación, velocidad de excavación y calidad de humos

En la parte final de este capítulo, se ha hecho un análisis económico para estimar el margen de ahorro debido a la eliminación del combustible, según los costos de combustible, nitrato, emulsión y dimensiones del taladro.

De esta manera se logra hacer un análisis integral, tanto del lado técnico económico, llegando a conclusiones importantes las cuales serán discutidas más adelante.

5.2.1. Velocidad de Detonación y Densidad

La velocidad de detonación está ligada a la densidad del explosivo, como se describió en el Marco Teórico. Asimismo, debido a que las pruebas de densidad corresponden al mismo taladro donde se midió la velocidad de detonación, se ha analizado estas dos características de manera conjunta. Estos resultados obtenidos en la línea base y las pruebas realizadas para la Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible, se muestran en los siguientes gráficos.

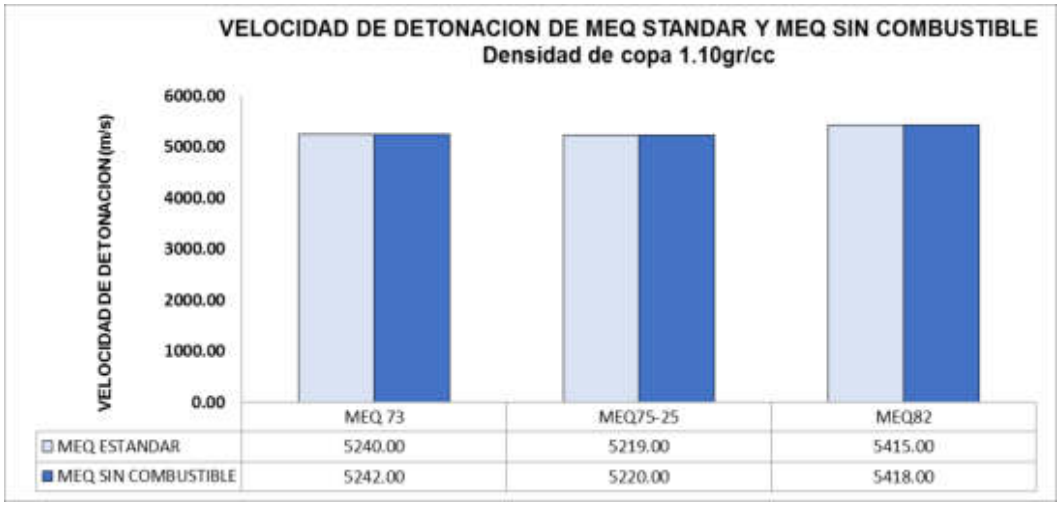


Figura 49. Pruebas de Velocidad de Detonación con densidad final de 1.10 gr/cc – MEQ Estándar y Sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

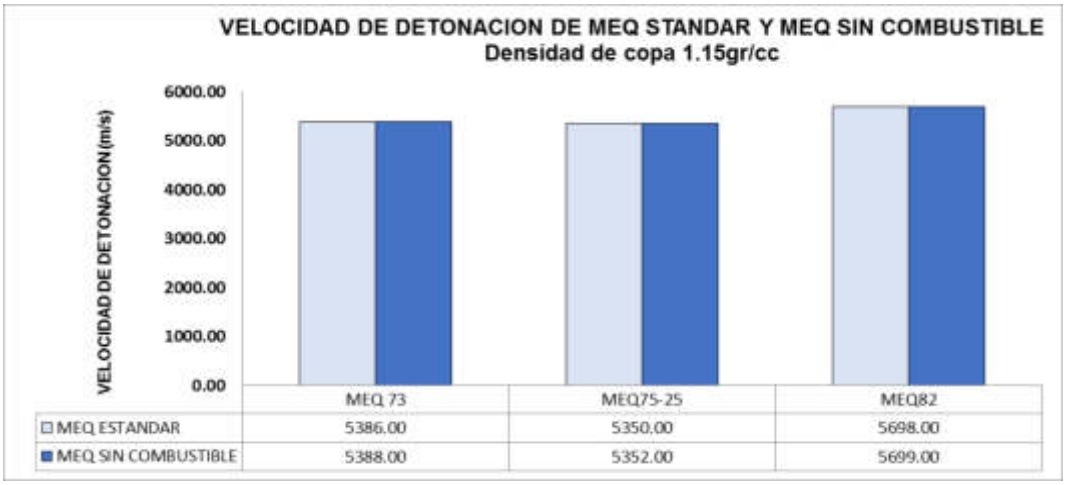


Figura 50. Pruebas de Velocidad de Detonación con densidad final de 1.10 gr/cc – MEQ Estándar y Sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Se muestra los resultados de las pruebas del MEQ Estándar y MEQ sin Combustible (MEQ73, MEQ75.25, MEQ82) con densidades finales de copa 1.10gr/cc y 1.15 gr/cc. Se observa que ambas Mezclas Explosivas han tenido el mismo desempeño en VOD, superando el rango teórico (4000- 6000 m/s) en el caso de la MEQ82.

5.2.2. Fragmentación

Se realizó el análisis de fragmentación por zonas de minado (mineral y desmonte) durante los tres meses de prueba. Se observa que la MEQ Estándar y la MEQ sin Combustible han tenido el mismo desempeño obteniendo valores dentro del rango aceptable. P80 promedio de 7.07 pulg.

En zona de mineral y 10.14 en zona de desmonte.

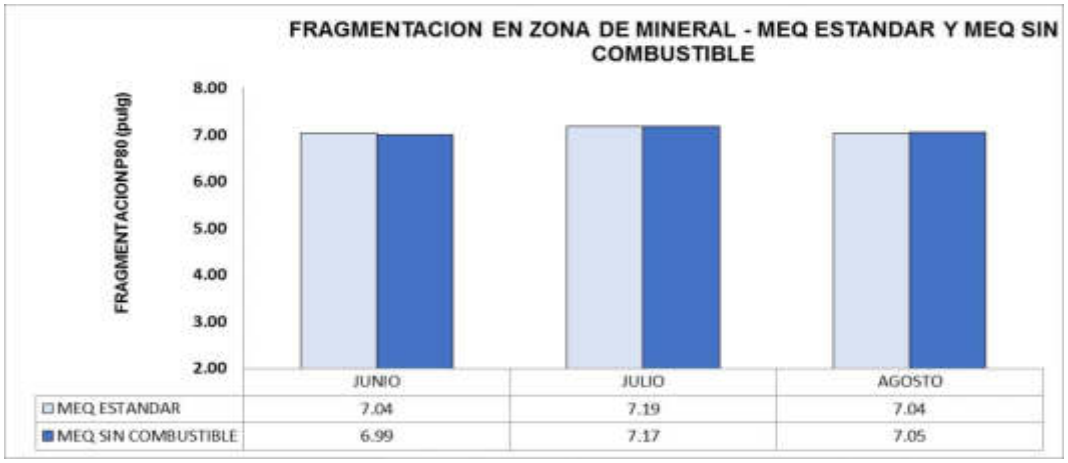


Figura 51. Análisis de Fragmentación en Zona de Mineral – MEQ Estándar y Sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

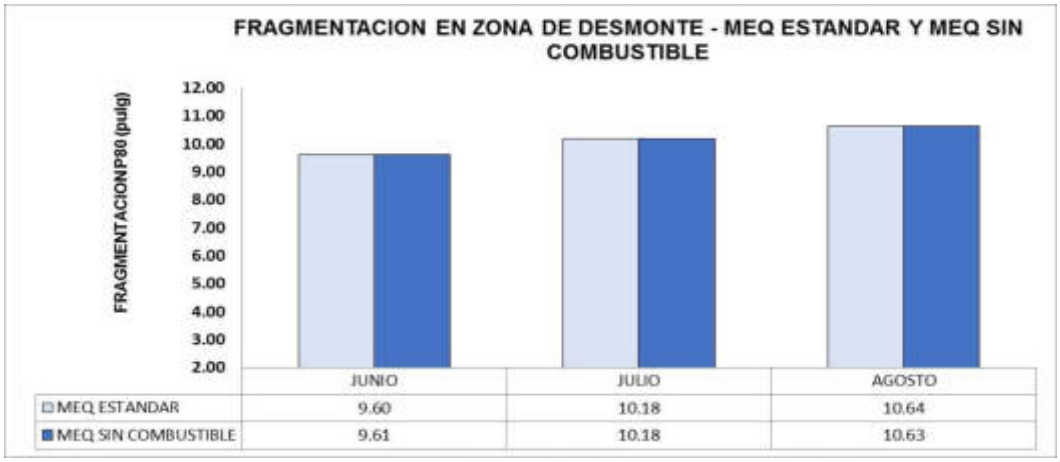


Figura 52. Análisis de Fragmentación en Zona de Desmonte – MEQ Estándar y Sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

5.2.3. Velocidad de Minado

Del mismo modo se realizó el análisis de la velocidad de minado por zonas de minado (mineral y desmonte) durante los tres meses de prueba. Se observa que la MEQ Estándar y la MEQ sin Combustible han tenido el mismo desempeño obteniendo valores dentro del rango aceptable. Velocidad de minado promedio de 2383.50 TM/hr En zona de mineral y 4274.11 TM/ hr en zona de desmonte. Como se ha descrito previamente, la velocidad de minado se ha analizado de una manera específica con el objetivo de que las condiciones de minado sean las más similares posibles.

5.2.4. Calidad de humos

Según el análisis de generación de humos naranja (gases nitrosos) por fases de minado se observa mayor incidencia en fase 8, debido a la presencia de roca Aglomerado inferior. Hay una incidencia mayor utilizando Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible debido a la variación del balance del oxígeno por la eliminación del combustible.

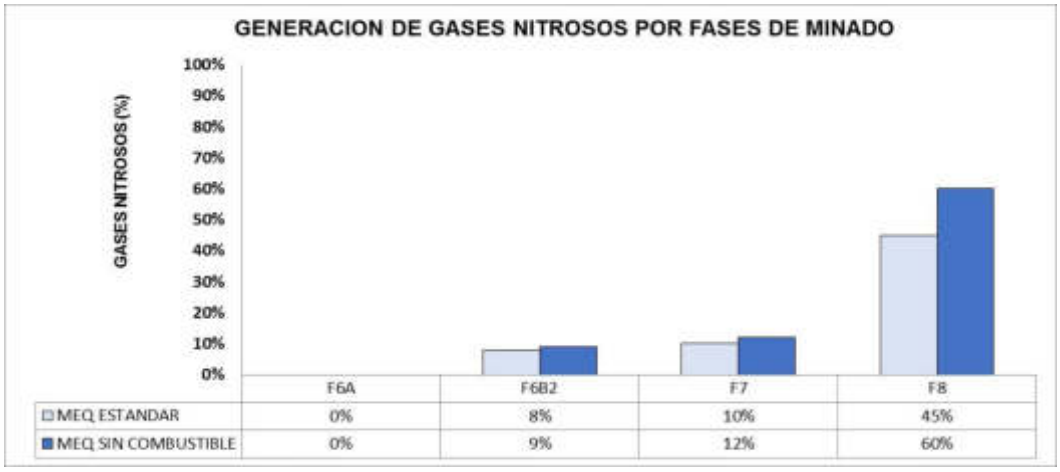


Figura 53. Generación de Gases Nitrosos por Fases de Minado – MEQ Estándar y sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

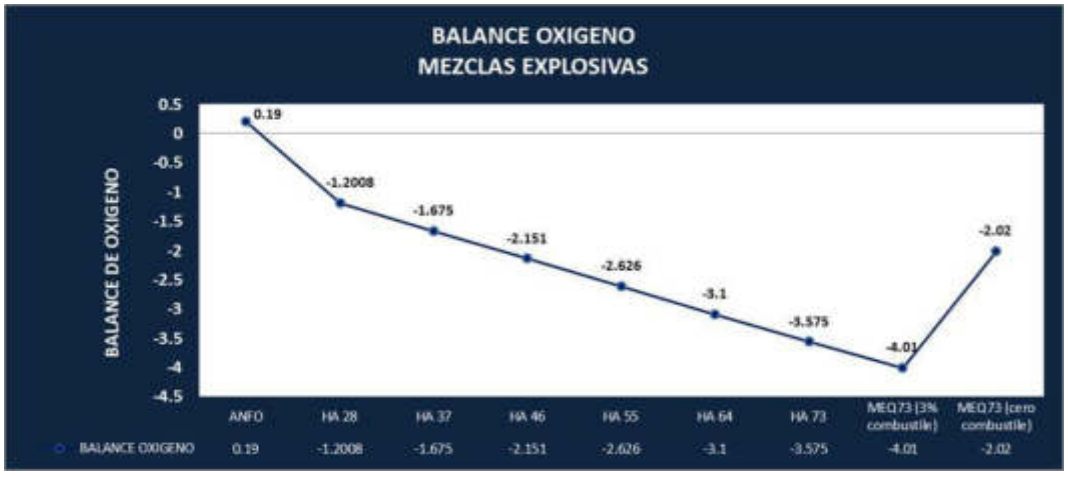


Figura 54. Balance de Oxigeno de la MEQ Estándar Y Sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

5.2.5. Análisis Económico

Tras realizar el análisis tecnico y comparar las dos diferentes mezclas, a continuación, se estudiará las ventajas económicas que puede brindar el nuevo producto a la operación. Este análisis se ha realizado asumiendo condiciones ideales, en base a los precios de las materias primas (diésel, nitrato de amonio y emulsion), dimensiones del taladro, grado de esponjamiento de la mezcla, entre otros factores, para poder comparar ambos explosivos desde un punto de vista económico, lo cual será uno de los factores principales para tomar alguna decisión.

Es importante indicar que un análisis económico basado en la cantidad de explosivo alojado dentro de un taladro depende directamente de sus dimensiones geométricas (altura y diámetro). Estas variables definen el volumen y por ende la cantidad de explosivo que puede contener.

En este análisis se ha podido determinar el costo por metro lineal, costo por taladro, costo por tonelada volada y finalmente la p royección de ahorro según el plan anual de consumos de las materias primas en mención.

Tabla 13.
Precio de los Agentes de Voladura

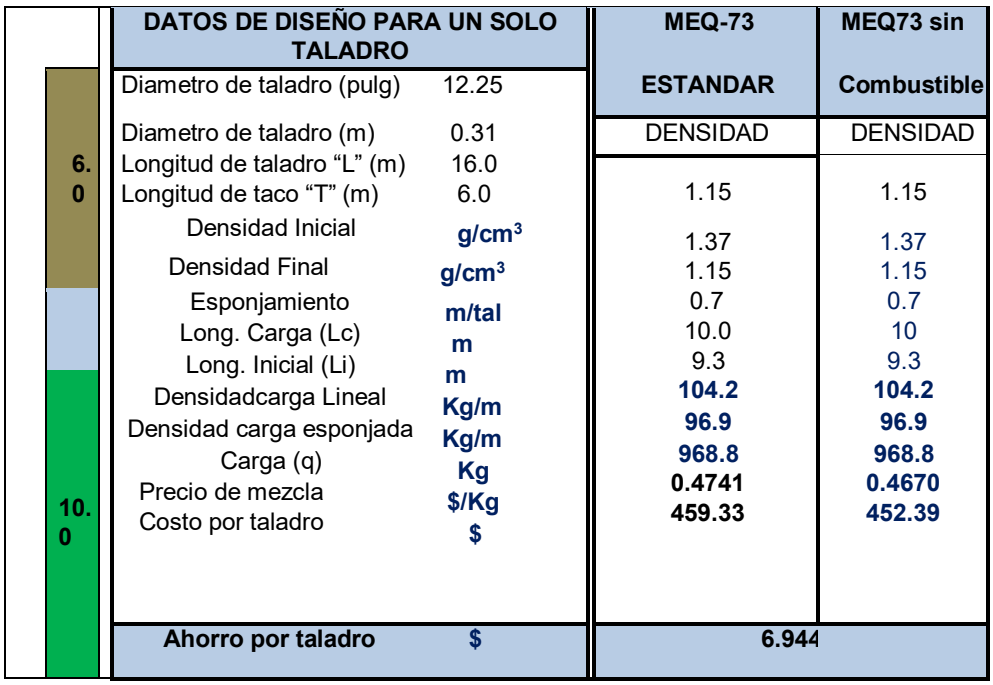
PRECIOS DE AGENTES DE VOLADURA	
MATERIAL	$/Kg
Nitrato Quantex	0.475
Petroleo + ACEITE	0.523
Emulsion G	0.473
Solución Gasificante	0.000
Costo de aceite usado	0.748

Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Tabla 14.
Porcentaje de ahorro utilizando MEQ sin Combustible por taladro

MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX	
COSTO MEZCLA EXPLOSIVA	
COSTO MEZCLA EXPLOSIVA CON [3%(D2+aceite)]	0.474129($/Kg)
COSTO MEZCLA EXPLOSIVA CON [CERO COMBUSTIBLE]	0.473690($/Kg)
AHORRO POR VENTA DE ACEITE USADO	0.006729($/Kg)
AHORRO TOTAL POR ELIMINACIÓN DE COMBUSTIBLE Y VENTA DE ACEITE USADO	0.007168($/Kg)
NUEVO COSTO MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX (INCLUYE VENTA A FAVOR DE ACEITE USADO)	0.466961($/Kg)
%AHORRO CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX "CERO COMBUSTIBLE"	1.5118%

Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)



DATOS DE DISEÑO PARA UN SOLO TALADRO		MEQ-73 ESTANDAR	MEQ73 sin Combustible
Diametro de taladro (pulg)	12.25		
Diametro de taladro (m)	0.31	DENSIDAD	DENSIDAD
Longitud de taladro “L” (m)	16.0		
Longitud de taco “T” (m)	6.0	1.15	1.15
Densidad Inicial	g/cm³	1.37	1.37
Densidad Final	g/cm³	1.15	1.15
Esponjamiento	m/tal	0.7	0.7
Long. Carga (Lc)	m	10.0	10
Long. Inicial (Li)	m	9.3	9.3
Densidadcarga Lineal	Kg/m	**104.2**	**104.2**
Densidad carga esponjada	Kg/m	**96.9**	**96.9**
Carga (q)	Kg	**968.8**	**968.8**
Precio de mezcla	$/Kg	**0.4741**	**0.4670**
Costo por taladro	$	**459.33**	**452.39**
Ahorro por taladro	**$**	**6.944**	

Figura 55. Ahorro por taladro utilizando MEQ sin Combustible
Fuente. Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Tabla 15.
Proyección de ahorro anual utilizando MEQ sin Combustible

RESUMEN BENEFICIO - SEGÚN PLAN ANUAL	
TOTAL EXPOSIVO AL AÑO	60,382,476(Kg)
COSTO MEZCLA EXPLOSIVA CON [3%(D2+aceite)]	28,629,076($)
COSTO MEZCLA EXPLOSIVA CON [CERO COMBUSTIBLE]	28,602,575($)
AHORRO EXPLOSIVO CERO COMBUSTIBLE	26,501($)
AHORRO POR VENTA DE ACEITE USADO	162,525($)
AHORRO POR COMBUSTIBLE Y VENTA ACITE USADO	**189,025($)**

Asistencia Técnica (EXSA S.A., 2018)

Según el análisis se determina que el ahorro por taladro cargado es de 6.94 $/tal utilizando Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible y según el plan anual de consumo de agentes de voladura se proyecta un ahorro de 189,025.00 $ por año.

CONCLUSIONES

Según el análisis técnico y económico de los resultados podemos concluir que la Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible logró mejores resultados en el aspecto económico y manteniendo resultados similares con variaciones mínimas en el aspecto técnico, A continuación se detallan los resultados según las variables de estudio.

- Realizando el análisis Técnico de velocidad de detonación y densidad se determinó un incremento de 0.03% y 0.015% en fragmentación y velocidad de minado, con el uso de Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible.

- El mejor performance en velocidad de detonación de la Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible se da en densidad de 1,15gr/cc donde las burbujas de nitrógeno que sensibilizan el explosivo son más estables, por ende en esta densidad se logra la mayor energía de presión en el explosivo.

- Según el análisis de generación de humos naranja (gases nitrosos) se observa mayor incidencia en fase 8, debido a la presencia de roca aglomerado inferior. Hay una incidencia mayor de 15% utilizando Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible debido a la variación del balance del oxígeno por la eliminación del combustible, por ende la implementación de la nueva Mezcla Explosiva se realizará por tipo de roca.

- Realizando el análisis Económico se determinó que el ahorro por taladro cargado es de 6.94 $/tal utilizando Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible y según el plan anual de consumo de agentes de voladura se proyecta un ahorro de 189,025.00 $ por año.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se sugieren, en base a lo aprendido y observado durante la investigación son las siguientes:

- Existen puntos críticos en el uso de la Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible, los cuales requieren constante monitoreo (control de densidades, tiempo de esponjamiento, inyección de solución gasificante y calibración de camiones mezcladores).

- Se recomienda establecer mecanismos de control y supervisión post implementación para lograr resultados exitosos constantemente para mantener y/o mejorar continuamente los resultados técnicos y económicos.

- Se recomienda estandarizar el uso de Mezcla Explosiva Quantex por tipo de roca según el cuadro de generación de humos naranja por litología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Australian Explosives Industry and Safety Group Inc (Ed.). (2011). *Prevention And Management Of Blast Generated Nox Gases In Surface Blasting.* Camberra, Australia. Recuperado de: https://www.oricaminingservices.com/uploads/Bulk%20Systems/COP%20NO x%20-%20Edition%201%20June%202011.pdf

Castilla, J., & Herrera, J. (Ed.). (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería.* Madrid, España. Recuperado de: https://www.slideshare.net/AlfredoPangue/perforacin-y-voladura-de-rocasen-minera

Condori, S. (2015). Estandarización del explosivo Me – Quantex, reducción de costos operativos y eliminación de gases contaminantes mediante el análisis de parámetros de voladura en mina Cuajone (Tesis de Grado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

Concha, O, y Bernebé, H. (Ed.). (1999). *Geología y Génesis de Cuajone*. Moquegua Perú.

Chugá, A. (2017). Análisis comparativo entre el método convencional y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú (Tesis de Grado). Universidad Central Del Ecuador, Quito, Ecuador.

Exsa S.A. (2009). *Manual Práctico de voladura*. Lima, Perú: Edición especial.

Exsa S.A. (2016). *Tecnología Quantex*. Lima, Perú. Recuperado de: http://www.exsasoluciones.pe/exsa-y-la-tecnologia-quantex-en-el-pdac-2016/

Hernández, R. (Ed.). (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.

Konya, C., y Albarrán, E. (Ed.). (1998). *Diseño De Voladuras*. México D.F.: Ediciones Cuicatl.

Llacma, O. (2017). Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone (Tesis de Grado). Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, Perú.

Lopez, C. (Ed.). (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas.* Madrid, España: IGME

Vilela, W. (2014). Análisis de factibilidad para el uso de Anfo pesado a base de emulsión gasificable en Minera Yanacocha (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú.

Yana, F. (2012). Evaluación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de costos de voladura en el Tajo de la Mina Toquepala (Tesis de Grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

ANEXO

Tabla 16.
Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
1. Interrogante General ¿Es factible técnica y económicamente el uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone?	**1.Objetivo General** Estudiar la factibilidad técnica y económica del uso de Mezcla Esplosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de na unidad minera Cuajone	**1. Hipótesis General** Se plantea la hipótesis de que es factible técnica y económicamente el uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone, y tenga la capacidad de lograr los mismos o mejores resultados que la Mezcla Explosiva Quantex Con Combustible, añadiendo un valor agregado a la operación en cuanto a la reducción de costos por la eliminación de combustible.	**1. Variable independiente** Ventajas técnicas y operativas en la utilización de Mezcla Explosiva Quantex sin combustible DIMENSIONES • Velocidad de detonación (VOD) • Fragmentación • Densidad • Velocidad de minado • Calidad de humos	**1.Tipo de Investigación** • Aplicativo y Cuantitativa **2.Diseño de Investigación** • No experimental **3. Nivel de Investigación** • Descriptivo **4.Metodología de Investigación** • Descriptiva (herramienta de mejora DMAIC)
2.Interrogantes específicos • ¿Cuáles son las ventajas técnicas para determinar la factibilidad del uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone? • ¿Cuáles son las ventajas económicas para determinar la factibilidad del uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone?	**2. Objetivos específicos** • Estudiar las ventajas técnicas del uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone • Estudiar las ventajas económicas del uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone.	**2.Hipótesis Específicas** • El uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible muestra ventajas técnicas en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone. • El uso de Mezcla Explosiva Quantex Sin Combustible muestra ventajas económicas en la voladura de rocas de la unidad minera Cuajone.	**2. Variable dependiente.** Ventajas económicas en la utilización de Mezcla Explosiva Quantex sin combustible DIMENSIONES • Costo de la MEQ sin combustible por metro lineal ($/m) • Costo de la MEQ sin combustible por taladro ($/tal) • Proyección de ahorro ($)	**5.Población** • La población está constituida por todos los proyectos de voladura en las distintas fases de la Unidad Minera de Cuajone ejecutadas en el 2018 **6.Muestra:** La muestra está constituida por 10 proyectos de voladura realizados con la Mezcla Explosiva Quantex sin Combustible en las tres fases actuales de minado (F8, F7 y F6B2)

Fuente: Elaboración Propia, 2018