

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Aplicación de la nueva solución acuosa de nitrato gasificable

para optimizar las voladuras primarias de la fase 1 - 2 del

Tajo Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor: Bach. Kevin Rodrigo HUAMÁN ARZAPALO

Asesor: Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO

Cerro de Pasco - Perú- 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Aplicación de la nueva solución acuosa de nitrato gasificable

para optimizar las voladuras primarias de la fase 1 - 2 del

Tajo Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Floro Pagel ZENTENO FLORES

PRESIDENTE

Mg. Edgar ALCÁNTARA TRUJILLO

MIEMBRO

Mg. Nieves Oswaldo GORA TUFINO

MIEMBRO

DEDICATORIA

Con el mayor cariño a Dios y a mis queridos padres: Rodrigo y Alina por su apoyo incondicional en mi desarrollo personal y profesional, sin su sacrificio no sería posible esta realidad. A mis docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por sus aportes, consejos y experiencias que han encaminado mi carrera profesional. A los diversos profesionales entre ellos familiares que despertaron la pasión por esta gran carrera.

RECONOCIMIENTO

A mi hermana Heydy, a mis tíos Rudy, William, Edwin y en especial a mi tío Hugo que desde el cielo será la estrella que guie mi camino.

A la empresa Famesa Explosivos S.A.C. y a Minera Chinalco Perú S.A., por permitirme hacer esta investigación y a todas las personas que participaron y apoyaron este estudio.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación “**Aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable para optimizar las Voladuras Primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.**” Se ha realizado por la necesidad de continuar con la optimización del proceso de voladura de rocas en el Tajo Toromocho.

En las voladuras primarias del Tajo Toromocho se utiliza el Anfo Pesado Gasificado Q73, los proyectos disparados con esta mezcla explosiva han sido tomados como línea base para realizar la comparación de los resultados.

El trabajo de investigación propone la aplicación de una nueva mezcla explosiva capaz de optimizar la fragmentación y velocidad de excavación en las voladuras primarias de la Fase 1 – 2 del Tajo Toromocho.

El performance del explosivo se vio reflejado en el resultado de la fragmentación y velocidad de excavación del material volado, con el cual se obtuvo una disminución del P80 de 5.05 pulgadas a 4.30 pulgadas, además se obtuvo un aumento de la velocidad de excavación de 9,061.0 ton/h a 9,670.0 ton/h. El factor de potencia en mallas de 4.80 m x 5.50 m se redujo en 3.8%, en mallas de 5.20 m x 6.00 m en 4.4%, en mallas de 6.90 m x 8.00 m en 6.4% y en mallas de 8.70 m x 10.00 m en 10.0%. Post-voladura no se obtuvo presencia de gases nitrosos, debido que el ANFO no es componente de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable y consiguientemente al buen balance de oxígeno propio de la mezcla a base de emulsión pura.

PALABRAS CLAVE: Fragmentación, Velocidad de Excavación, Factor de Potencia, Gases Nitrosos.

ABSTRACT

The present research work “Application of the New Aqueous Solution of Gasifiable Nitrate to optimize the Primary Blasting of Phase 1 - 2 of the Toromocho Pit - Minera Chinalco Perú S.A”. It has been carried out due to the need to continue with the optimization of the rock blasting process in the Tajo Toromocho. In the primary blasting of the Toromocho Pit, the Heavy Gasified Anfo Q73 is used, the projects fired with this explosive mixture have been taken as a baseline to compare the results.

The research work proposes the application of a new explosive mixture capable of optimizing fragmentation and excavation speed in the primary blasting of Phase 1 - 2 of the Toromocho Pit.

The performance of the explosive was reflected in the result of the fragmentation and excavation speed of the blown material, with which a decrease of the P80 from 5.05 inches to 4.30 inches was obtained, in addition, an increase in the excavation speed of 9,061.0 tons per hour to 9,670.0 ton per hour. The power factor in meshes of 4.80 m x 5.50 m was reduced by 3.8%, in perforation mesh of 5.20 m x 6.00 m by 4.4%, in perforation mesh of 6.90 m x 8.00 m by 6.4% and in perforation mesh of 8.70 m x 10.00 m by 10.0%. Post-blasting, no presence of nitrous gases was obtained, due to the fact that ANFO is not a component of the New Aqueous Solution of Gasifiable Nitrate and consequently to the good oxygen balance of the mixture based on pure emulsion.

KEY WORDS: Fragmentation, Excavation Speed, Power Factor, Nitrous Gases.

INTRODUCCIÓN

La finalidad del trabajo de investigación: “**Evaluación Técnica de la Aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.**”, es optimizar la fragmentación y velocidad de excavación en las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho; y demostrar las características técnicas de esta nueva mezcla explosiva.

En el primer capítulo se hace mención del planteamiento del problema, delimitación de la investigación, objetivos de la investigación, justificación y limitaciones de investigación

En el segundo capítulo se detalla el marco teórico describiendo las características y propiedades de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable, este capítulo es vital para entender el desarrollo del trabajo de investigación.

En el tercer capítulo se detalla la metodología de investigación.

En el cuarto capítulo se describe las pruebas de campo aplicando la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable detallando los parámetros y condiciones de las voladuras; posterior a eso se realiza el análisis y discusión de resultados, comparando los rendimientos e indicadores obtenidos en las pruebas de campo con la línea base.

ÍNDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación y determinación del problema	1
1.2 Delimitación de la investigación	2
1.2.1 Tajo Toromocho	2
1.2.1.1 Ubicación Geográfica	2
1.2.1.2 Accesibilidad	3
1.2.1.3 Historia del Yacimiento Toromocho	4
1.2.1.4 Geología general	6
1.2.1.5 El yacimiento mineral Toromocho	10
1.2.1.6 Método de Explotación	13
1.2.1.7 Diseño de Open Pit	13
1.2.1.8 Operaciones Mina	15
1.3 Formulación del problema	17
1.3.1 Problema principal	17

1.3.2 Problemas específicos	17
1.4 Formulación de Objetivos	18
1.4.1 Objetivo General	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
1.5 Justificación de la Investigación.....	19
1.6 Limitaciones de la investigación	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio	20
2.1.1 Antecedentes nacionales.	20
2.1.2 Antecedentes internacionales.....	21
2.2 Bases teóricas científicas.....	22
2.3 Definición de términos	35
2.4 Formulación de Hipótesis.....	36
2.4.1 Hipótesis general.....	36
2.4.2 Hipótesis específicas	36
2.5 Identificación de variables.....	36
2.6 Definición Operacional de variables e indicadores.	37

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación	38
3.2 Métodos de Investigación.....	38
3.3 Diseño de Investigación	41
3.4 Población y muestra	41
3.4.1 Población	41
3.4.2 Muestra	41
3.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	41
3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	43
3.7 Tratamiento Estadístico	44
3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	44
3.9. Orientación ética.....	44

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del trabajo de campo	45
4.1.1 Línea Base Anfo Pesado Q73	45
4.1.2 Pruebas con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable	47
4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	84
4.2.1 Resultados en Fragmentación	84

4.2.2 Resultados Velocidad de Excavación o Dig Rate.....	86
4.2.3 Resultados Factor de Potencia	87
4.2.4 Resultados Nivel de Humos.....	90
4.3. Prueba de Hipótesis	91
4.3.1. Prueba de Hipótesis General.....	91
4.3.2. Prueba de Hipótesis Secundaria.....	91
4.4. Discusión de resultados	97
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Accesos al Tajo Toromocho	4
Figura 2: Tajo Toromocho.....	14
Figura 3: Perforadora Pit Viper 351.	15
Figura 4: Carguío de Taladros - Camiones Fábrica Heavy Anfo Q73.	16
Figura 5: Carguío y Acarreo PALA CAT 7495 – CAT 797F.	17
Figura 6: Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.....	25
Figura 7: Emulsión Matriz.....	26
Figura 8: Solución Gasificante N30.	27
Figura 9: Control de densidad.	28
Figura 10: Medición de la temperatura.	29
Figura 11: Esponjamiento de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en función al tiempo.....	30
Figura 12: Sistema Split Online	32
Figura 13: Control Dig Rate	33
Figura 14: Escala de apariencia típica de gases post voladura.....	34
Figura 15: PY 4500_01001 FASE 1.....	47
Figura 16: Plano PY 4500_01001 FASE 1.	48
Figura 17: Diseño de Carga – Taladro de Producción PY 4500_01001.	48
Figura 18: Diseño de Carga – Taladro Buffer PY 4500_01001.....	49
Figura 19: Post Voladura PY 4500_01001.....	51
Figura 20: PY 4575_02013 FASE 2.....	52

Figura 21: Plano PY 4575_02013 FASE 2.	53
Figura 22: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 5.60 m x 6.50 m - PY 4575_02013.	54
Figura 23: Diseño de Carga - Taladro de Producción – Malla 6.90 m x 8.00 m - PY 4575_02013.	55
Figura 24: Nivel de Humos o Gases Nitrosos PY 4575_02013.	57
Figura 25: Post Voladura PY 4575_02013.	58
Figura 26: PY 4500_01004_01005 FASE 1.	59
Figura 27: Plano PY 4500_01004_01005 FASE 1.	59
Figura 28: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 6.50 m x 7.50 m PY 4500_01004.	60
Figura 29: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 8.70 m x 10.0 m PY 4500_01004.	60
Figura 30: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 6.90 m x 8.00 m PY 4500_01005.	61
Figura 31: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 8.70 m x 10.00 m PY 4500_01005.	61
Figura 32: Nivel de Humos PY 4500_01004_01005.	64
Figura 33: Post Voladura PY 4500_01004_01005.	64
Figura 34: PY 4470_01004_01004 FASE 1.	65
Figura 35: Plano PY 4470_01004 FASE 1.	66

Figura 36: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 4.80 m x 5.50 m PY 4470_01004.....	66
Figura 37: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 5.20 m x 6.00 m PY 4470_01004.....	67
Figura 38: Nivel de Humos PY 4470_01004.....	69
Figura 39: Post Voladura PY 4470_01004.....	70
Figura 40: PY 4560_02007 FASE 2.....	72
Figura 41: Plano PY 4560_02007 FASE 2.	71
Figura 42: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 4.30 m x 5.00 m PY 4560_02007.....	72
Figura 43: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 4.80 m x 5.50 m PY 4560_02007.....	72
Figura 44: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 6.90 m x 8.00 m PY 4560_02007.....	73
Figura 45: Nivel de Humos PY 4560_02007.....	75
Figura 46: Post Voladura PY 4560_02007.....	75
Figura 46: PY 4575_02014	76
Figura 47: Plano PY 4575_02014 FASE 2.	76
Figura 48: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 3.45 m x 4.00 m PY 4575_02014.....	77
Figura 49: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 5.20 m x 6.00 m PY 4575_02014.....	77

Figura 50: Nivel de Humos PY 4575_02014.	79
Figura 51: Post Voladura PY 4575_02014.....	80
Figura 52: PY 4545_02005	80
Figura 53: Plano PY 4545_02005 FASE 2.	81
Figura 54: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 6.90 m x 8.00 m PY 4545_02005.	81
Figura 55: Nivel de Humos PY 4545_02005.	83
Figura 56: Post Voladura PY 4545_02005.....	84
Figura 57: Wincha métrica para medir taco inicial y taco final en el carguío de taladros.	ANEXOS
Figura 58: Laptop y tablet para registrar y procesar datos.	ANEXOS
Figura 59: Kit de Control de densidades.	ANEXOS
Figura 60: Fotos de fragmentación por proyectos cargados con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.....	ANEXOS
Figura 61: Tesista presente en la filmación del disparo.	ANEXOS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva Densidad vs Tiempo de Gasificación.....	30
Gráfico 2: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4500_01001.....	50
Gráfico 3: Dig Rate PY 4500_01001.	51
Gráfico 4: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4575_02013.....	55
Gráfico 5: Dig Rate PY 4575_02013.	56
Gráfico 6: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4500_01004_01005.....	62
Gráfico 7: Dig Rate PY 4500_01004_01005.	63
Gráfico 8: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4470_01004.....	68
Gráfico 9: Dig Rate PY 4470_01004.	68
Gráfico 10: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4560_02007.....	74
Gráfico 11: Dig Rate PY 4560_02007.	74
Gráfico 12: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4575_02014.....	78
Gráfico 13: Dig Rate PY 4575_02014.	79
Gráfico 14: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4545_02005.....	82
Gráfico 15: Dig Rate PY 4545_02005.	83
Gráfico 16: Comparativo P80 Requerido – P80 FAMESA – P80 Proveedor Actual. ..	85
Gráfico 17: Comparativo P80 Requerido – P80 FAMESA.....	85
Gráfico 18: Comparativo P80 FAMESA – P80 Proveedor Actual.	85
Gráfico 19: Comparativo Dig Rate Requerido – Dig Rate FAMESA – Dig Rate Proveedor Actual.....	86

Gráfico 20: Comparativo Dig Rate Requerido – Dig Rate FAMESA.	87
Gráfico 21: Comparativo Dig Rate FAMESA – Dig Rate Proveedor Actual.....	87
Gráfico 22: Comparativo F.P. FAMESA – F.P. Proveedor Actual. Malla 4.80 m x 5.50 m.....	88
Gráfico 23: Comparativo F.P. FAMESA – F.P. Proveedor Actual. Malla 5.20 m x 6.00 m.....	89
Gráfico 24: Comparativo F.P. FAMESA – F.P. Proveedor Actual. Malla 6.90 m x 8.00 m.....	89
Gráfico 25: Comparativo F.P. FAMESA – F.P. Proveedor Actual. Malla 8.70 m x 10.00 m.....	90
Gráfico 26: Comparativo Nivel de Gases FAMESA – Nivel de Gases Proveedor Actual.	90
Gráfico 27: Campana de Gauss Determinación de Hipótesis P80.	93
Gráfico 28: Campana de Gauss Determinación de Hipótesis Dig Rate.	94
Gráfico 29: Campana de Gauss Determinación de Hipótesis F.P.....	96
Gráfico 30: Comparación P80 y Reducción en el porcentaje de pasantes con los proyectos antecedentes.	99

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1: Ubicación del Proyecto Toromocho.....	3
Plano 2: Geología Toromocho.....	8
Plano 3: Yacimiento Toromocho.....	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros de perforación Tajo Toromocho.....	24
Tabla 2: Características técnicas de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.....	25
Tabla 3: Características técnicas de la Solución gasificante.	27
Tabla 4: Densidades de diferentes tipos de explosivo.....	27
Tabla 5: Matriz control de densidades.....	29
Tabla 6: Rango de Temperatura – Porcentaje de Solución Gasificante y Tiempo.....	30
Tabla 7: Operacionalización de las variables	37
Tabla 8: Fragmentación Línea base Anfo pesado Q73 gasificado.	45
Tabla 9: Dig Rate Línea base Anfo pesado Q73 gasificado.....	46
Tabla 10: Factor de Potencia Línea base Anfo pesado Q73 gasificado.	46
Tabla 11: Factor de Potencia Línea base Anfo pesado Q73 gasificado.	46
Tabla 12: Parámetros PY 4500_01001.....	47
Tabla 13: Valores P80 Y % de Finos PY 4500_01001.	49
Tabla 14: Dig Rate PY 4500_01001.	50
Tabla 15: Factor de Potencia PY 4500_01001.....	51
Tabla 16: Parámetros PY 4575_02013.....	52
Tabla 17: Valores P80 Y % de Finos PY 4575_02013.	55
Tabla 18: Dig Rate PY 4545_02013.	56
Tabla 19: Factor de Potencia PY 4575_02013.....	57

Tabla 20: Parámetros PY 4500_01004_01005.....	58
Tabla 21: Valores P80 Y % de Finos PY 4500_01004_01005.....	62
Tabla 22: Dig Rate PY 4500_01004_01005.....	62
Tabla 23: Factor de Potencia PY 4500_01004_01005.....	63
Tabla 24: Parámetros PY 4470_01004.....	65
Tabla 25: Valores P80 Y % de Finos PY 4470_01004.....	67
Tabla 26: Dig Rate PY 4470_01004.....	68
Tabla 27: Factor de Potencia PY 4470_01004.....	69
Tabla 28: Parámetros PY 4560_02007.....	70
Tabla 29: Valores P80 Y % de Finos PY 4560_02007.....	73
Tabla 30: Dig Rate PY 4560_02007.....	74
Tabla 31: Factor de Potencia PY 4560_02007.....	75
Tabla 32: Parámetros PY 4575_02014.....	76
Tabla 33: Valores P80 Y % de Finos PY 4575_02014.....	78
Tabla 34: Dig Rate PY 4575_02014.....	78
Tabla 35: Factor de Potencia PY 4575_02014.....	79
Tabla 36: Parámetros PY 4545_02004.....	80
Tabla 37: Valores P80 Y % de Finos PY 4545_02005.....	82
Tabla 38: Dig Rate PY 4545_02005.....	82
Tabla 39: Factor de Potencia PY 4545_02005.....	83
Tabla 40: Resultados P80 Y Porcentaje de Finos.....	84

Tabla 41: Resultados Dig Rate o Velocidad de Excavación.	86
Tabla 42: Factor de Potencia - Voladuras con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.	88
Tabla 43: Nivel de Gases - Voladuras con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.	90
Tabla 44: Prueba de hipótesis general, optimización de voladuras.	91
Tabla 45: Muestras P80.	92
Tabla 46: Muestras Dig Rate.	93
Tabla 47: Muestras F.P.	95
Tabla 48: Muestras Nivel de Humos.	96
Tabla 49: Comparación de Resultados Mezclas Explosivas.	97
Tabla 50: Recolección de datos control de densidad.	104
Tabla 51: Resumen Proyectos disparados con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.	107
Tabla 52: Matriz de Consistencia “Aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable para Optimizar las Voladuras primarias de la Fase 1 – 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.	108

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación y determinación del problema

Asumiendo los nuevos retos que plantea la minería, y considerando que el mercado, cada vez es más competitivo en bienes y servicios. Vemos que los clientes buscan calidad a un menor precio. Así la industria explosiva relacionada a la voladura de rocas, establece como meta, cumplir con estas necesidades y estándares de sus clientes.

El requerimiento de la planta concentradora de Toromocho, con respecto a la fragmentación es como P80 de 4 pulgadas de tamaño de roca. La velocidad de excavación o Dig Rate debe ser superior a las 9,000 ton/h. Estos rendimientos en Fragmentación y Velocidad de Excavación no son posibles, sin un adecuado planeamiento y diseño de Ingeniería.

En el Tajo Toromocho se utiliza Anfo Pesado Gasificado como mezcla explosiva, una mezcla de densidad inicial alta 1.38 g/ cm³. Esto eleva el Factor de Potencia. La Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable debido a su emulsión matriz, tiene

una densidad inicial de 1.31 g/cm^3 . 5% menor, reduciendo el consumo de explosivo y como consecuencia se reduce el Factor de Potencia.

Otro factor importante a considerar es el compromiso ambiental de la compañía minera. Parte de este compromiso es mitigar la emisión de gases nitrosos en el la voladura de rocas. La mezcla explosiva que actualmente utilizan contiene Anfo dentro de su composición, esto origina gases nitrosos en las reacciones, generando contaminación del aire y mal aspecto visual.

1.2 Delimitación de la investigación

1.2.1 Tajo Toromocho

1.2.1.1 Ubicación Geográfica

El distrito minero de Morococha está localizado en la provincia de Yauli, departamento de Junín, teniendo como referencia las coordenadas E376600 y N8716800 según el Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM), zona de referencia PSAD56-18S. La altitud varía entre los 4,400 y 5,000 m.s.n.m.

Plano 1: Ubicación del Proyecto Toromocho.



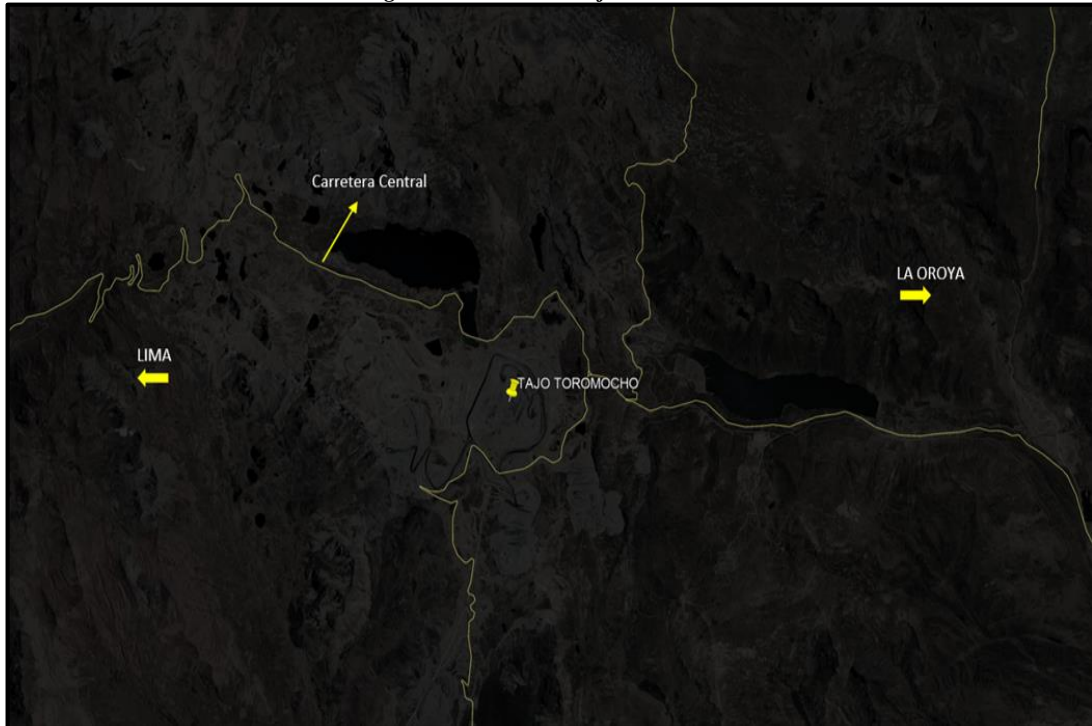
	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS		N° de plano: 1
	Tesis: "Aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable para optimizar las Voladuras Primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A."		
Presentado por: Bach. Kevin Rodrigo HUAMAN ARZAPALO			
Título: Ubicación del Proyecto Toromocho	Fuente: Área de Geología Minera Chinalco Perú		

Fuente: Área de Geología Minera Chinalco Perú.

1.2.1.2 Accesibilidad

Las vías de acceso son por medio de la Carretera Central asfaltada con 142 km aproximado y por el Ferrocarril Central que conecta el distrito con Lima y La Oroya.

Figura 1: Accesos al Tajo Toromocho



Fuente: Vista Satelital Google Earth Pro.

1.2.1.3 Historia del Yacimiento Toromocho

El yacimiento Toromocho está localizado en el centro del Perú en el distrito minero de Morococha. La Historia del distrito minero de Morococha se remonta al tiempo de los incas, cuando la región fue explorada y explotada por plata y oro. Durante el periodo de la Colonia Española, el área fue explotada por minerales oxidados con contenido de plata, zinc y plomo. En 1861 el científico italiano Antonio Raymondi estudio la región y publicó sus hallazgos el año 1902 en un libro titulado “Estudios geológicos de la carretera de Lima a Morococha y áreas colindantes”.

El servicio ferroviario entre Lima y Yauli se inició en 1894. Ese año, un grupo de mineros dirigidos por Proaño, Valentine, y Stuart iniciaron una exploración a gran escala. En 1908, Cerro de Pasco Syndicate y la

compañía Backus & Johnston del Perú constituyeron la Compañía Minera Morococha.

La Compañía Minera Morococha fue reorganizada en el año 1915 y se fusionó con la empresa Cerro de Pasco Corporation. Tres años después Backus & Johnston vendió su participación en Morococha a Cerro de Pasco Corporation. Con la nacionalización de Cerro de Pasco Corporation en el año 1974, Morococha se convirtió en una unidad de producción bajo la administración de Centromin.

La información inicial registrada sobre el yacimiento de Toromocho se remonta a 1928 cuando se descubrió una zona mineralizada de cobre de baja ley a lo largo del stock de granodiorita en el cerro San Francisco.

Entre los años 1945 y 1955 Cerro de Pasco Corporation llevó a cabo un programa de exploraciones para evaluar el yacimiento de cobre. El área fue posteriormente explorada en el año 1963 cuando geólogos de Cerro de Pasco confirmaron que Toromocho tenía un potencial económico.

En el año 1974, Centromin inició una explotación a tajo abierto a pequeña escala del yacimiento Toromocho. La producción total fue 1'357,417 TM de mineral con una ley de 1.01% de cobre y 25g/t de Ag, entre 1974 y 1997, año en que Centromin abandonó la explotación. La descripción más moderna y completa de este distrito de Morococha fue publicada por Álvarez (1999).

En el año 2003, la propiedad fue privatizada y entregada a MPCopper la misma que durante el año 2003 realizó cinco perforaciones paralelas

a las de Centromin y fueron analizadas confirmándose la existencia de un gran yacimiento de cobre.

Durante el 2006 y 2007, se iniciaron estudios metalúrgicos, planificación minera, estudio de mecánica de rocas, modelamiento geológico y estimación de recursos, hidrología, estudios ambientales y relaciones comunitarias. Las perforaciones exploratorias de las extensiones del sureste y noreste del principal yacimiento mineral se iniciaron el 2007, las mismas que confirmaron un potencial en las mencionadas zonas.

1.2.1.4 Geología general

El distrito polimetálico de Morococha con una extensión de 5 por 6km ocupa el centro del intrusivo Terciario con mineralización asociada de skarn, hornfels y brechas. Se desarrolla en sedimentos calcáreos del grupo Pucará del periodo Jurásico sobre el flanco occidental del anticlinal regional con buzamiento (45-50 grados) localizado entre un gran intrusivo antiguo premineral andesítico (diorita) hacia el oeste y rocas volcánicas (Catalina) del periodo Pérmico – Triásico hacia el este a lo largo del eje del anticlinal regional.

Las unidades litológicas que afloran en el distrito de Morococha son tanto de naturaleza sedimentaria como ígnea y sus periodos oscilan desde el periodo Pérmico hasta el Terciario.

Las calizas del Grupo Pucará (Jurásico) fueron depositadas discordantemente sobre las rocas subyacentes del grupo Mitu (Catalina) (Proffet 2005). En general, los sedimentos Pucará están compuestos por calizas de color gris claro a blanco, calizas dolomíticas

con interestratificaciones de lutitas, hornfels y areniscas. Dos flujos de lava se encuentran intercalados con las calizas, Basalto Montero y la traquita Sacracancho. El Basalto Montero actúa como un horizonte guía y se ubica cerca de la cima del grupo Pucará.

La anhidrita masiva y yeso en el fondo de la caliza Pucará está compuesta por capas de anhidrita, yeso, lutita y caliza que yacen sobre las rocas volcánicas de la formación Catalina en una aparente discordancia angular y a lo largo del intrusivo pórfido feldespático y la granodiorita.

Estructuras

La principal estructura regional característica de la región es el domo de Yauli que se extiende por 30 km desde San Cristóbal hasta Morococha con un rumbo general de N35°O. En el distrito de Morococha, la principal estructura es el anticlinal de Morococha, que es la porción norte del domo de Yauli. El anticlinal de Morococha es un pliegue asimétrico con los volcánicos Catalina como núcleo. El eje del anticlinal tiene un rumbo de N20°O al norte del distrito con inclinación de 10° a 15° hacia el norte. El buzamiento del flanco oeste se encuentra en el rango de 20° a 30° y el flanco este entre 30° y 40°. Existen dos anticlinales secundarios a lo largo de los flancos este y oeste del anticlinal de Morococha respectivamente.

Mineralización en el distrito de Morococha

Una amplia variedad de cuerpos minerales han sido formados en las rocas ígneas, sedimentarias y las rocas encajonantes metamórficas del distrito de Morococha. La mineralización diseminada y tipo *stockwork* fue depositada en los stocks de granodiorita, pórfido cuarcífero de San Francisco, Gertrudis y San Miguel.

Los mantos de sulfuros masivos fueron formados paralelamente a la estratificación de las calizas del Pucará marmolizadas y silicatadas primeramente sobre el lado oriental del anticlinal. Las vetas más continuas mineralizadas se desarrollaron a lo largo de las fracturas de tensión en los volcánicos Catalina y en las rocas intrusivas. Los cuerpos mineralizados se formaron alrededor de los stocks San Francisco y Gertrudis a lo largo de los contactos con la caliza Pucará.

Los minerales de mena primarios más abundantes en las vetas y mantos son: calcopirita, tetrahedrita, enargita, esfalerita y galena y los minerales de ganga comunes son: pirita, magnetita, cuarzo, carbonatos y anhidrita.

1.2.1.5 El yacimiento mineral Toromocho

Características generales

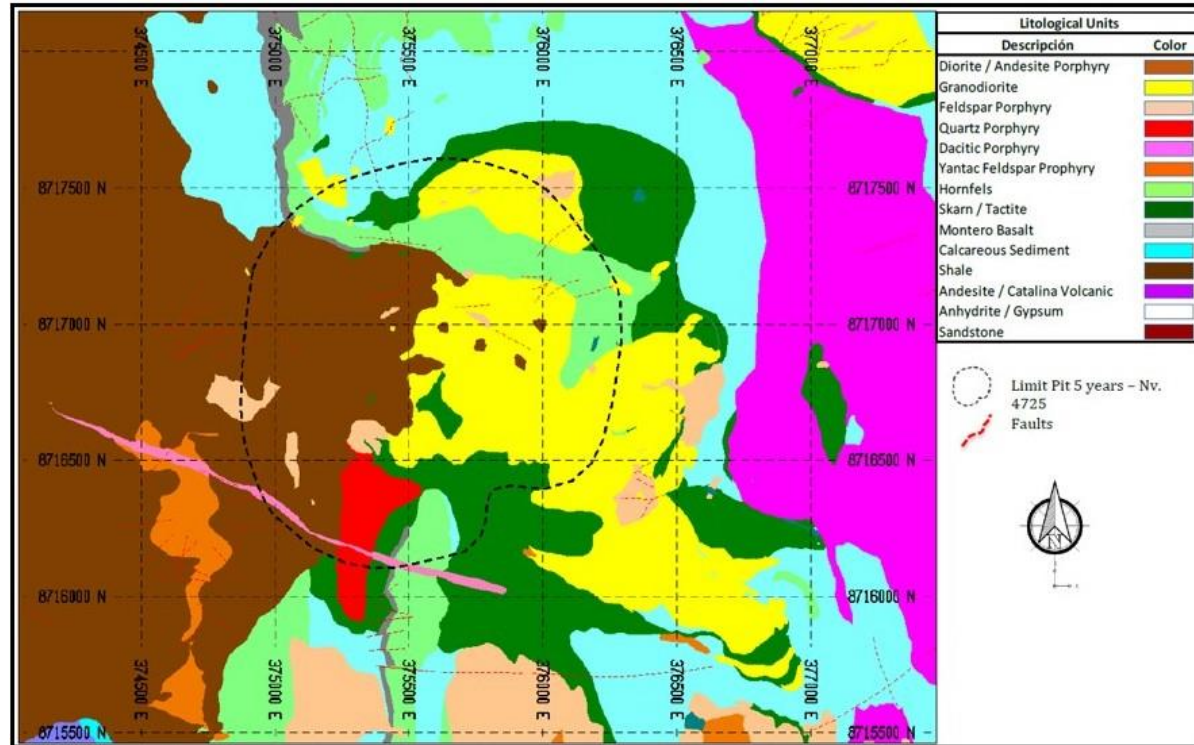
El yacimiento mineral de Toromocho aflora sobre la actual superficie a una altitud de 4,600 a 4800 m. El yacimiento de cobre se extiende 500 a 600 m hacia debajo de la superficie. La ley más alta del yacimiento mineral se ubica dentro de una extensión de 1.0 por 2.0 km de *skarn* brechado circundando al intrusivo granodiorítico y pórfido feldespático en forma de cúpula de hace 7 millones de años y subyace al intrusivo andesítico/diorítico regional más antiguo expuesta sobre la superficie en el lado oeste. El yacimiento contiene aproximadamente 1,500 millones de toneladas de reservas probado-probables con un promedio de 0.48% Cu, 0.019% Mo y 6.88 g/t Ag.

El yacimiento primario está superpuesto por la mineralización primaria pirítica de la última etapa, la alteración de arcilla y serpentina y el enriquecimiento de calcocita supergénica y covelita. El enriquecimiento moderado a débil, irregular y estructuralmente controlado de calcocita se extiende desde la superficie y desde el tope de los sulfuros dominantes hacia el fondo del enriquecimiento, 200 a 400 m debajo de la actual superficie.

La zona de sulfatos conteniendo diseminaciones de anhidrita y venillas se presenta muchos cientos de metros por debajo del fondo del enriquecimiento.

Una porción significativa de la cobertura original lixiviada sobre la zona enriquecida fue probablemente erosionada por la glaciación del Pleistoceno. La mitad superior de la zona enriquecida en muchos lugares contiene más del 50% de cobre lixiviable de acuerdo con los análisis de cobre secuencial. La mitad inferior del manto sobre el fondo del enriquecimiento y en la parte superior de la zona primaria está débilmente enriquecida y contiene de 15 a 50% de cobre lixiviable de acuerdo con el análisis secuencial.

Plano 3: Yacimiento Toromocho.



	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS		N° de plano: 3
	Tesis: "Aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable para optimizar las Voladuras Primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A."		
Presentado por: Bach. Kevin Rodrigo HUAMAN ARZAPALO			
Título: Yacimiento Toromocho	Fuente: Área de Geología Minera Chinalco Perú		

Fuente: Área de Geología Minera Chinalco Perú.

1.2.1.6 Método de Explotación

Dadas las dimensiones de los depósitos mineralizados, características geotécnicas del macizo rocoso y su proximidad a la superficie; el método seleccionado en la mina Toromocho es el de Tajo Abierto Mecanizado.

1.2.1.7 Diseño de Open Pit

Dadas la geometría y características del depósito mineral, el pit se ha diseñado en el software MineSight, a través del cual se ha determinado los siguientes parámetros de diseño:

- ✓ Ángulo de cara de banco : 65°
- ✓ Altura de banco : 15.0 m
- ✓ Ancho de bermas : 8.5 m
- ✓ Ancho de rampa : 40.0
- ✓ Pendiente de rampa: 10%

Figura 2: Tajo Toromocho.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

1.2.1.8 Operaciones Mina

Perforación

Consiste en hacer taladros donde se alojará el explosivo. La malla de perforación se realiza según diseño con la mayor precisión en cuanto a profundidad, coordenada exacta, paralelismo y perpendicularidad.

Los equipos de perforación, están diseñados en función a las características geomecánicas y estructurales de los macizos rocosos:

- ✓ 3 Perforadoras Pit Viper 351, Atlas Copco
- ✓ Diámetro de perforación: 12 ¼ pulg.
- ✓ Malla de perforación: triangular equilátero
- ✓ Longitud de perforación. 16.5 m
- ✓ Sobreperforación: 1.5 m

Figura 3: Perforadora Pit Viper 351.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Voladura

Se encarga del proceso de fragmentación del macizo rocoso. Consiste en el carguío mecanizado (camión fábrica) de taladros con explosivos (HEAVY ANFO Q73) según diseño de carguío.

Figura 4: Carguío de Taladros - Camiones Fábrica Heavy Anfo Q73.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Carguío

Conformada por la flota de palas y cargadores frontales, encargados de abastecer material (mineral o desmonte) a los equipos de acarreo.

- ✓ 3 Palas CAT 7495 de 81.8 Ton de carga útil de balde.
- ✓ 1 Cargador frontal LT 2350 40.52 m³ de capacidad.
- ✓ 1 Cargador frontal CAT 992K de 12.3 m³ de capacidad.

Acarreo

Proceso que se ocupa del transporte de material (mineral y desmonte) a los diferente destinos, como tovas de chancado, botaderos de mineral o botaderos de desmonte.

- ✓ 25 Camiones CAT 797F de 363 Tn de capacidad de carga útil nominal.
- ✓ 5 Camiones CAT 777F de 90.8 Tn de capacidad de carga útil nominal.

Figura 5: Carguío y Acarreo PALA CAT 7495 – CAT 797F.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema principal

¿Es posible optimizar los parámetros de voladura primaria en la fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A. con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable?

1.3.2 Problemas específicos

- a) ¿La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable permite optimizar la fragmentación en las voladuras primarias de la Fases 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.?

- b) ¿La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable permite optimizar la velocidad de excavación o dig rate de las voladuras primarias de la fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.?
- c) ¿La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable permite reducir el factor de potencia de las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.?
- d) ¿La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable permite minimizar los gases nitrosos de las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.?

1.4 Formulación de Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Optimizar los parámetros de las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Optimizar la fragmentación de las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en el Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.
- b) Optimizar la velocidad de excavación o dig rate de las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en el Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.
- c) Minimizar el factor de potencia de las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en el Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.

d) Minimizar los gases nitrosos de las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en el Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.

1.5 Justificación de la Investigación

Los nuevos estándares de los procesos mineros, ha llevado a la industria explosiva a innovar, aplicar e implementar nuevas tecnologías que optimicen el proceso de voladura de rocas en términos de fragmentación, velocidad de excavación y eliminación de gases nitrosos post voladura. Esto es posible gracias a las características técnicas de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable, su alta velocidad de detonación, baja densidad inicial pueden garantizar el cumplimiento de estas nuevas necesidades del cliente.

La presente investigación tiene el fin de evaluar técnicamente los resultados de las voladuras primarias en la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho, así la compañía minera pueda tener una nueva opción que le permita optimizar el proceso de voladura.

1.6 Limitaciones de la investigación

Por fortuna, Minera Chinalco Perú, brindó las facilidades técnicas adecuadas, condiciones de trabajo solicitadas e información complementaria, para el desarrollo y ejecución del presente proyecto de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio

2.1.1 Antecedentes nacionales.

Macedo, R. (2020). Empleo de Emulsión Gasificada SAN-G APU Para Mejorar la Fragmentación En la Fase 8 de la Mina Antamina Año 2018. Huaraz - Perú.

El trabajo de investigación, tuvo como objetivo principal realizar voladuras de rocas con SAN-G APU y optimizar la fragmentación en la Fase 8 de Compañía Minera Antamina. El explosivo por sus características técnicas y propiedades ofrecen un mayor rendimiento en velocidad de detonación 3.4% más respecto a la mezcla explosiva HA 73, mejora de la fragmentación y reducción de los costos unitarios en US\$/Tm. Así mismo se demuestra que el explosivo es eco-amigable, eliminando la presencia de gases nitrosos.

Escriba, E. (2018). Utilización de emulsión gasificable en voladura para optimizar factores ambientales, técnicos y económicos en minería a tajo abierto. Arequipa - Perú. Describe como el proceso de pruebas en voladura de

rocas (05 disparos), utilizando emulsión gasificable en zona estéril de la Fase 9 de minado de Antamina, mejoró los resultados en fragmentación y se eliminó la presencia de gases nitrosos. Obteniendo una disminución del P80 de 29.1 cm a 16.6 cm, además de una velocidad de detonación promedio de 5785,8 m/s 2.6% superior al promedio del ANFO pesado 73 gasificado, que actualmente es usado como mezcla explosiva para voladuras en Antamina. Así también lograron reducir el costo en US\$/Tm fragmentada.

Berto, Alex. (2019). Análisis del Uso de la Emulsión Gasificable SAN-G APU para Optimizar la Fragmentación de Voladuras Primarias – Compañía Minera Antamina S.A. - Huaraz. Cuzco - Perú. El trabajo de investigación describe un proceso de pruebas en voladura de rocas (03 disparos) en la Fase 9 de minado de Antamina, sin alterar los parámetros de perforación y voladura, en material estéril. Realizando un comparativo en fragmentación, velocidad de detonación y generación de gases nitrosos con el ANFO pesado 73 gasificado, que es la mezcla explosiva utilizada en las voladuras primarias de Antamina. Obtuvieron una VOD promedio de 5829,4 m/s 3.1% mayor al promedio de VOD el ANFO pesado 73 gasificado. Reduciendo el P80 de 27.4 cm a 18.91 cm. El Factor de Potencia teórico se redujo en 3.5%. La mezcla explosiva al no utilizar ANFO para su fabricación reduce los costos en 8.42% en US\$/Tm fragmentada.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Aguirre, Andrés. (2016). Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el Abra. Santiago - Chile. El motivo del trabajo fue hallar la rentabilidad económica y técnica al momento de aplicar explosivos, para reducir los costos y la

granulometría de las operaciones de tronadura. La metodología empleada, en primer lugar, dio a conocer la situación actual, para luego realizar la toma de datos, analizarlos y dar las conjeturas y conclusiones obtenidas. Los resultados principales dieron que el explosivo Vistis 225 tiene mucha mayor energía en comparación a otros, debido a que genera una mayor fragmentación a la roca, además de resolver los problemas de material de gran tamaño en las fases 3 y 14. El P80 fue efectivo a un 100%, contribuyendo a la rentabilidad de estudio, asimismo los resultados obtenidos, sobrepasaron a los resultados estimados con relación al beneficio de fragmentación. Finalmente, se concluye que la aplicación de nuevos explosivos como el Vistis 225 técnica y rentablemente constituye una opción que mejora ambos aspectos durante el proceso de tronadura.

Famesa Explosivos. (2018). Aplicación de la Solución Acuosa de Nitrato Gasificable SAN G en el proyecto de oro a cielo abierto Merian de Newmont Gold. Suriname. El objetivo de la aplicación fue estandarizar la SAN G como mezcla explosiva para las voladuras. Se logró reducir la fragmentación P80 de 8.54 pulgadas a 4.41 pulgadas, así mismo se eliminó los gases nitrosos y se estandarizó como mezcla explosiva de la unidad minera.

2.2 Bases teóricas científicas

Malla de Perforación

Es la forma en la que se distribuyen los taladros de una voladura, considerando la relación de burden y espaciamiento y su directa vinculación con la profundidad de los taladros.

En el diseño de una voladura de banco se puede aplicar diferentes trazos para la perforación, denominándose malla cuadrada, rectangular y triangular o alterna, basándose en la dimensión del burden. (Manual de Voladura Exsa, 2012, pág. 177).

Densidad de roca

Característica importante y resolutive de las rocas y minerales inherentes a su propia estructura molecular.

Se define como la relación entre la masa del material y su volumen, siendo un factor importante usado como indicador general de la mayor o menor dificultad que pueda encontrarse para romper a una roca, y en la práctica se relaciona con la macidez y dureza. (Manual de Voladura Exsa, 2012, pág. 58).

Tipo de Roca

Mediante la caracterización geomecánica que está en función de la resistencia de la roca intacta, presencia y distribución de discontinuidades, densidad de roca y otros factores podemos clasificar al macizo rocoso en: Roca fuerte (RF), roca medianamente fuerte (RMF) y roca débil (RD).

Burden

Es la distancia desde el eje del taladro a la cara libre perpendicular más cercana.

También la distancia entre filas de taladros en una voladura.

Se considera el parámetro más determinante de la voladura. Depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de la roca, altura de banco y las especificaciones del explosivo a emplear. Se determina en relación al grado de fragmentación y al desplazamiento del material volado que se quiere conseguir. (Manual de Voladura Exsa, 2012, pág. 168).

Espaciamiento

Es la distancia entre taladros de una misma fila que se disparan con un mismo retardo o con retardos diferentes y mayores en la misma fila.

Se calcula en relación con la longitud del burden, a la secuencia de encendido y el tiempo de retardo entre taladros. (Manual de Voladura Exsa, 2012, pág. 170).

Tabla 1: Parámetros de perforación Tajo Toromocho.

DIAM. PERF. (pulg)	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	ALT. BANCO (m)	SUB DRILL (m)	LONG. PERF. (m)
12 ¼	8.7	10.0	15.0	1.5	16.5
12 ¼	6.9	8.0	15.0	2.0	17.0
12 ¼	6.5	7.5	15.0	2.0	17.0
12 ¼	5.2	6.0	15.0	2.0	17.0
12 ¼	4.8	5.5	15.0	2.0	17.0
7 ⅞	4.3	5.0	15.0	1.5	16.5
7 ⅞	3.5	4.0	15.0	1.5	16.5

Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Mezcla explosiva

La Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable es un explosivo basado en emulsión que se sensibiliza mediante un aditivo químico (gasificante); el explosivo alcanza su sensibilidad dentro del taladro de voladura.

Su densidad, como agente de voladura, varía de 1.10 a 0.85 g/cm³ y puede ser regulada en función de la concentración de su sensibilizador, aspecto que permite usar el producto en diferentes tipos de roca, tanto secos como inundados.

La Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable debe ser iniciado por una prima conformada por un Booster HDP, de un peso concordante con el peso de las columnas explosivas usadas y con un detonador electrónico o no eléctrico.

Figura 6: Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos.

Aspectos más relevantes de la Nueva Emulsión de Nitrato Gasificable:

- ✓ Alta velocidad de detonación, del orden de 5600 m/s.
- ✓ Amplio rango de densidad, desde 0.80 hasta 1.20 g/cm³.
- ✓ Inherente resistencia al agua.
- ✓ Adecuado balance de oxígeno y no producción de gases nitrosos.
- ✓ Buen acoplamiento en el taladro por su alta viscosidad.

Tabla 2: Características técnicas de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.

EMULSIÓN MATRIZ	UNIDAD	VALOR
Densidad inicial	g/cc	1.32 ± 3
Densidad sensibilizada	g/cc	0.80 a 1.20
Viscosidad en condiciones normales (*)	Cp	Min. 12000
VOD de la emulsión sensibilizada (**)	m/s	4800 a 5800
Presión de detonación	Kbar	51 a 98
Energía	Kcal/kg	805
Volumen normal de gases	L/kg	1025
Potencia relativa en peso (***)	%	90
Potencia relativa en volumen (***)	%	152
Resistencia al agua		Excelente
Categoría de humos		Primera
Diámetro crítico	mm	76
Tiempo de permanencia en el taladro	días	7

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos.

(*) Medido en el viscosímetro BROKFIELD a 50 RPM.

(**) Confinado en tubo de PVC de 6" de diámetro.

(***) Potencias relativas referidas al Anfo, con potencia convencional de 100.

Componentes de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable

Emulsión Matriz

La emulsión explosiva es del tipo agua-aceite y está compuesta principalmente por una fase oxidante (sales de nitrato) y otra fase combustible. Químicamente, está formulada para reaccionar con nitrito de sodio N30, que es el agente gasificante. Y físicamente esta preparada para retener burbujas de gas dentro de su masa. Es un poco mas densa que la emulsión común del Anfo pesado. Y otros aspectos como la viscosidad, balance de oxígeno, PH y tensión superficial juegan un papel importante.

Figura 7: Emulsión Matriz.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos.

Solución Gasificante N30

Es una solución acuosa de nitrito de sodio, en una concentración adecuada para su estabilidad. La coloración sirve de indicador, para notar que la emulsión gasificable esta reaccionando con la solución de nitrito. Es ligeramente mas denso que el agua.

Figura 8: Solución Gasificante N30.



Fuente: Famesa Explosivos.

Tabla 3: Características técnicas de la Solución gasificante.

Solución gasificante	ASPECTO	DENSIDAD	Ph
	Líquido acuoso	1.12 g/cc	4.5

Fuente: Famesa Explosivos.

Densidad de la mezcla explosiva

La densidad de la mayoría de los explosivos varía entre 0.8 y 1.6 g/cm³ (Ver Tabla 1).

Cuanto más denso sea un explosivo, proporcionará mayor efecto brisance o impacto.

Tabla 4: Densidades de diferentes tipos de explosivo.

TIPO DE EXPLOSIVO	DENSIDAD (g/cm ³)
Emulsión a granel	1.10 - 1.60
Anfo cargado neumáticamente	0.80 - 1.00
Anfo vaciado	0.80 - 0.90
Anfo encartuchado	1.10 - 1.20
Anfo pesado	1.10 - 1.40
Dinamitas	1.05 - 1.50
Hidrogeles	1.15 - 1.30

Fuente: Konya & Albarrán, 1998.

Densidad de Copa

El control de la densidad de copa es ineludible y debe realizarse todo el tiempo. No es necesaria mucha precisión en campo, con una balanza (de gramos) y varios depósitos calibrados, se puede determinar el valor de la densidad que debe corresponder a la densidad del diseño de carga en plan de voladura. La densidad de

copa, que se obtiene durante el carguío, es representativa de la parte superior del taladro. Para conocer la densidad en el fondo o la densidad media, se debe aplicar el factor de compresibilidad de la Emulsión Gasificada.

Durante las pruebas en el Proyecto Toromocho, se determinó trabajar con una densidad de copa de: 1.10 gr/cm³.

La densidad de copa se obtiene de manera indirecta a través del peso de la mezcla explosiva en vasos de probeta. Se utiliza una cartilla para la tabulación.

Figura 9: Control de densidad.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

La Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable alcanza su densidad de copa en 15 minutos después de la mezcla en el camión fábrica. Se utiliza una cartilla y un cronómetro para controlar la velocidad de la gasificación.

Generalmente la toma de muestras para el control de densidad de la mezcla explosiva se realiza cuando esta mezcla se encuentra homogénea, la muestra debe estar libre de partículas y/o sustancias contaminantes que alteren las propiedades físicas de la mezcla y que pueden causar un error en cálculo de densidades.

Tabla 5: Matriz control de densidades.

VASO 1					
Peso (gramos)	0 min	5 min	10 min	15 min	20 min
600	1.26	1.27	1.22	1.17	1.13
601	1.28	1.23	1.18	1.13	1.08
602	1.30	1.25	1.20	1.15	1.10
603	1.32	1.27	1.22	1.17	1.12
604	1.34	1.29	1.24	1.19	1.14

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos.

Temperatura de la mezcla explosiva

La temperatura es un factor que influencia directamente a la gasificación. A mayor temperatura se necesitará menor inyección de solución gasificante para obtener la densidad deseada y esto ocurre inversamente a menor temperatura. (Famesa Explosivos, 2018).

Control de temperatura

A medida que se aumenta la temperatura se incrementa la producción de burbujas; la gasificación es mas rápida y la densidad final puede ser menor para la misma cantidad de gasificante. La temperatura actúa como un catalizador para la formación y expansión de burbujas.

Antes del control de densidades se toma la temperatura de la muestra en el vaso con un termómetro de mercurio o digital, la temperatura determina el porcentaje de solución gasificante a utilizar para el mezclado.

Figura 10: Medición de la temperatura.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

Tabla 6: Rango de Temperatura – Porcentaje de Solución Gasificante y Tiempo.

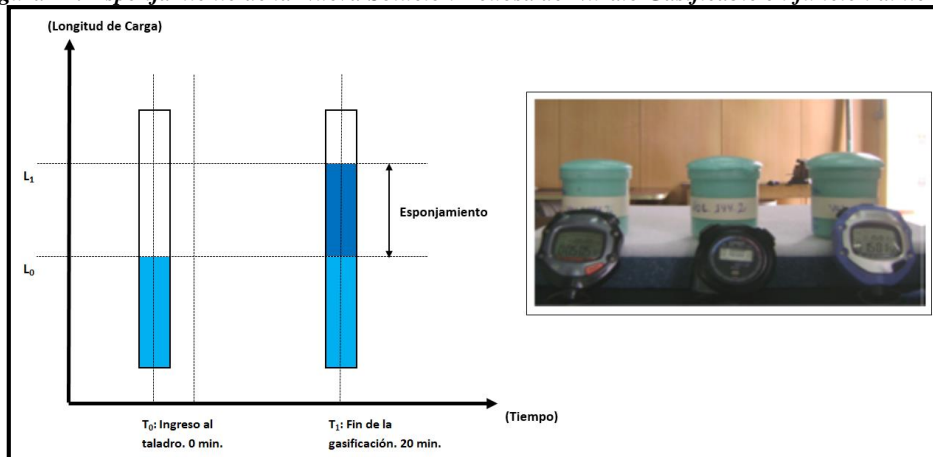
N°	RANGO DE TEMPERATURA DE LA EMULSIÓN MATRIZ	°C	PORCENTAJE DE SOLUCIÓN GASIFICANTE	DENSIDAD A LOS 20 MINUTOS
1	40°C - 45°C	43	1.20%	1.070
2	35°C - 40°C	39	1.25%	1.055
3	30°C - 35°C	33	1.35%	1.050
4	25°C - 30°C	30	1.25%	1.10
5	20°C - 25°C	24	1.30%	1.086
6	15°C - 20°C	19	1.40%	1.085
7	10°C - 15°C	14	1.75%	1.028
8	5°C - 10°C	8	1.80%	1.050
9	35°C - 40°C	3	1.60%	1.050

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos.

Esponjamiento

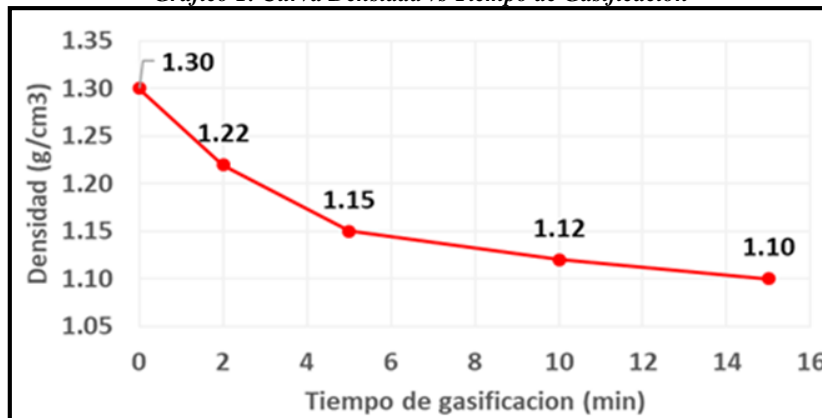
La gasificación aumenta el volumen de la Emulsión, a este aumento de volumen se le conoce como esponjamiento y se calcula según la densidad del explosivo. El factor de esponjamiento dentro del taladro está ligado a las condiciones del terreno como: fracturamiento, presencia de agua, ensanchamiento o imperfecciones del taladro.

Figura 11: Esponjamiento de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en función al tiempo.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos.

Gráfico 1: Curva Densidad vs Tiempo de Gasificación



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos.

Longitud de taco

El taladro no se llena con explosivo hasta la parte superior o collar, esa parte es rellena con material inerte que tiene la función de retener los gases generados durante la detonación, sólo durante fracciones de segundo, suficientes para evitar que estos gases fuguen como un soplo por la boca del taladro y más bien trabajen en la fragmentación y desplazamiento de la roca en toda la longitud de la columna explosiva. (Manual de Voladura Exsa, 2012, pág. 167).

Longitud de columna explosiva

Es la parte activa del taladro de voladura, también denominada “longitud de carga” donde se produce la reacción de la mezcla explosiva y la presión inicial de los gases contra las paredes del taladro.

Es importante la distribución de explosivo a lo largo del taladro, según las circunstancias o condiciones de la roca. Usualmente comprende de 1/2 a 2/3 de la longitud total y puede ser continua o segmentada. (Manual de Voladura Exsa, 2012, pág. 171).

KPIs voladura de rocas:

Fragmentación

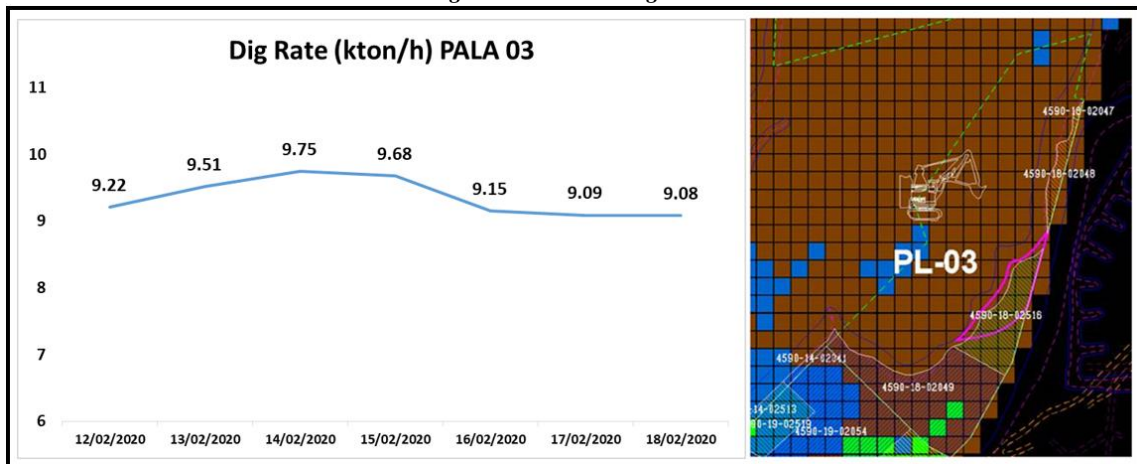
El objetivo básico de toda voladura es lograr la fragmentación del macizo rocoso y una distribución granulométrica adecuada, junto a la disposición de la pila de escombros y su esponjamiento. La fragmentación resultante puede impactar significativamente en las fases posteriores de la operación.

La evaluación de la fragmentación de las voladuras es algo que se ha comenzado a hacer eficazmente muy recientemente.

Velocidad de excavación

La Velocidad de Excavación o Dig Rate es la Tasa de Rendimiento de las Palas de cables en el Proyecto Toromocho. Es un indicador clave para medir el performance del explosivo y la calidad de la voladura.

Figura 13: Control Dig Rate



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Factor de Potencia

El factor de potencia es una excelente unidad referencial para el cálculo de la carga total de un disparo. Indica la cantidad de explosivo necesaria para fragmentar 1 tonelada de roca o mineral.

Cálculo del Factor de Potencia

La cantidad de explosivo utilizado en un proyecto es reportado por la empresa especializada en voladura, y el tonelaje es tomado del Control de Producción de Minera Chinalco Perú.

Gases nitrosos

La detonación de todo explosivo comercial produce polvo, vapor de agua (H₂O), óxidos de nitrógeno (NO-NO₂), óxidos de carbono (CO-CO₂) y eventualmente gases sulfurosos (H₂S, SO₃ y AlO₂) si contenía azufre o aluminio. Entre los gases inocuos generados hay siempre cierto porcentaje de productos irritantes tóxicos o







letales llamados en conjunto “humos”, como el monóxido de carbono y el bióxido de nitrógeno.

Es fundamental en la formulación de la mezcla explosiva asegurar una completa combustión con la máxima potencia y mínima producción de gases tóxicos, siendo necesario controlar la proporción de oxígeno suministrado a los componentes combustibles (añadirlo o restarlo según convenga) para que logren su mayor nivel de oxidación.

Medición del nivel de gases nitrosos

Se aplica la escala de niveles y apariencia típica de gases post voladura:

Figura 14: Escala de apariencia típica de gases post voladura

NIVEL	APARIENCIA TIPICA
<p>Nivel 0 No Humos</p>	
<p>Nivel 1 Leve, Humos de color amarillo</p>	
<p>Nivel 2 Menor, Humos color amarillo /anaranjado</p>	
<p>Nivel 3 Moderado, Humos color anaranjado</p>	
<p>Nivel 4 Significante, Humos color anaranjado</p>	
<p>Nivel 5 Mayor, Humos color rojo</p>	

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos.

2.3 Definición de términos

Voladura de Rocas

De acuerdo a los criterios de la mecánica de rotura la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento.

(Manual de Voladura Exsa, 2012, pág. 161).

Explosivo

Los explosivos son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso que por medio de reacciones químicas de óxido-reducción, son capaces de transformarse en un tiempo muy breve, del orden de una fracción de microsegundo, en productos gaseosos y condensados, cuyo volumen inicial se convierte en una masa gaseosa que llega a alcanzar muy altas temperaturas y en consecuencia muy elevadas presiones. (Manual de Voladura Exsa, 2012, p. 11).

Agente de voladura

Los agentes de voladura son aquellos explosivos no sensibles al fulminante N°8, por lo que necesitan un cebo reforzado o primer-booster para iniciar su detonación. (López Jimeno, 2003).

Balance de Oxígeno

Ésta es la cantidad de oxígeno, expresada en por ciento del peso, liberada como un resultado de la conversión completa del material explosivo a CO_2 , H_2O , SO_2 , AlO_2 (balance de oxígeno “positivo”). Si hay oxígeno insuficiente para la reacción completa de la oxidación se dice que el compuesto tiene un balance de oxígeno negativo. Los explosivos comerciales deben tener un balance de oxígeno cercano a cero para minimizar la cantidad de gases tóxicos, particularmente monóxido de

carbono y gases nitrosos que están presentes en los humos. (Manual de Voladura ENAEX, 2014, pág. 2).

Perforación

Su propósito es abrir en la roca o mineral huecos cilíndricos llamados taladros.

Estos están destinados a alojar o colocar explosivos y sus accesorios en interior.

2.4 Formulación de Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable permite optimizar las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.

2.4.2 Hipótesis específicas

- a) La fragmentación se reduce con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.
- b) La velocidad de excavación se optimiza con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de la minera Chinalco Perú S.A.
- c) El factor de potencia se optimiza con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de la minera Chinalco Perú S.A.
- d) Los gases nitrosos se reducen con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de la minera Chinalco Perú S.A.

2.5 Identificación de variables

Variable Independiente

X: Aplicación de una nueva solución acuosa de nitrato gasificable.

VARIABLES Dependientes

Y: Optimización de las voladuras primarias de las Fases 1 - 2 del tajo Toromocho.

2.6 Definición Operacional de variables e indicadores.

Tabla 7: Operacionalización de las variables

VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
<u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u> <i>“aplicación de la nueva solución acuosa de nitrato gasificable”</i>	La aplicación de una nueva solución acuosa de nitrato gasificable permite optimizar los parámetros de las voladuras primarias de las fases 1-2 del tajo Toromocho.	Malla de perforación	Densidad de roca	gr/cm ³
			Tipo de roca	F-MF-DMF
			Burden	m
			Espaciamiento	m
			Mezcla explosiva	%
		Componentes de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable	Emulsión matriz	%
			Solución Gasificante N30	%
			Densidad de la mezcla explosiva	gr/cm ³
			Densidad de Copa	gr/cm ³
			Temperatura de la mezcla explosiva	T°
			Control de temperatura	T°
			Esponjamiento	cm
			Longitud de taco	m
			<u>VARIABLE DEPENDIENTE</u> <i>“Optimización de los parámetros de voladura primaria de la fase 1 - 2 del tajo Toromocho”</i>	Al realizar voladuras primarias en tajo abierto, la fragmentación, velocidad de excavación, factor de potencia y gases nitrosos no son bien controlados, por lo que se requiere el uso de nuevas mezclas explosivas para optimizar estos parámetros.
Velocidad de excavación	tn/h			
Factor de Potencia	Kg/tn			
Gases nitrosos	%			

Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación

La evaluación presentada en este proyecto de tesis, parte de una caracterización científica de tipo explicativo - experimental con enfoque cuantitativo, ya que se determinan las causas y efectos del objeto de estudio, a través de la caracterización y explicación de una modificación o variabilidad de mejora (Aplicación de una nueva solución acuosa de nitrato gasificable) con respecto al proceso inicial y estos se contrastan a partir de resultados cuantitativos numéricos (P80, velocidad de excavación, factor de potencia, nivel de humos) obtenidos a partir de la población y muestra.

3.2 Métodos de Investigación

La metodología seleccionada para el presente proyecto de tesis es del tipo analítico - inductivo, ya que reúne las condiciones metodológicas de carácter empírico, es decir se analizan casos específicos reales (7 disparos con la nueva solución acuosa de nitrato gasificable), cuyos resultados son recabados para extraer conclusiones.

La ejecución de la presente investigación yace su enfoque en 2 aspectos, los cuales consisten en realizar el control del carguío in situ de los taladros y del trabajo analítico post voladura.

Al recolectar la información inicial correspondiente para el desarrollo de los estudios, se evidenció que las voladuras realizadas con la mezcla explosiva actual no cumplían con los estándares de la compañía minera (P80, velocidad de excavación, factor de potencia y nivel de humos), entonces se propone implementar una nueva alternativa (mezcla explosiva) en el Tajo Toromocho.

Es así, que a partir de este análisis se determina que la aplicación de la nueva solución acuosa de nitrato gasificable por sus características, puede ser una alternativa más compatible e ideal para cumplir los estándares de la compañía minera respecto a voladuras.

El patrón de enfoque de este proyecto básicamente está orientado en un análisis comparativo entre dos alternativas de explosivos (mezcla explosiva actual vs la nueva solución acuosa de nitrato gasificable) de distinta fabricación y componentes, cuyos parámetros y resultados en el campo nos permitirán determinar la mezcla explosiva con mejor desempeño en las voladuras.

Las actividades realizadas en el presente proyecto, están orientadas principalmente en el análisis de Fragmentación P80, velocidad de excavación, factor de potencia y nivel de humos teniendo en cuenta que estos estándares propuestos por la compañía minera, indican que valores son aceptables para los procesos siguientes de concentrado.

El desarrollo del presente proyecto de tesis se ha desarrollado en tres fases:

1. Análisis de resultados de voladuras con la mezcla explosiva actual.

Análisis de la base de datos en fragmentación, velocidad de excavación, factor de potencia y nivel de humos.

2. Aplicación de la nueva solución acuosa de nitrato gasificable en las voladuras primarias.

Control y supervisión del carguío in situ de los taladros de producción, control de densidad de la nueva mezcla explosiva y verificación del cumplimiento de diseño de carga explosiva por tipo de malla.

3. Análisis comparativos Post Voladura mezcla explosiva actual vs la nueva solución de nitrato gasificable.

La actividad minera contemporánea actualmente no consiste solo en la extracción de la materia prima, en este caso el mineral, de forma irresponsable y arbitraria, al contrario, actualmente se busca generar propuestas de valor para que la obtención del mismo, se desarrolle de forma óptima, sostenible y ecoamigable que sea económicamente beneficioso tanto para la empresa, el país y el medio ambiente.

Es ahí donde brota la convicción del desarrollo del presente proyecto de tesis, relacionado a la actividad minera superficial, que es capaz de demostrar los beneficios de esta nueva mezcla explosiva.

Los alcances generales de la presente investigación abarcan:

- a.** Rendimientos de voladuras actuales y probables ratios (P80, velocidad de excavación y factor de potencia), a partir de la nueva mezcla explosiva propuesta.
- b.** Procesamiento de fotos y vídeos Post Voladura, a fin de evidenciar la calidad ecológica de esta nueva mezcla explosiva.

3.3 Diseño de Investigación

El diseño de investigación corresponde a la investigación cuantitativa, descriptiva y correlacional, se tiene una data base que describe los resultados al utilizar una mezcla explosiva en las voladuras primarias. Luego de ejecutar las pruebas también se realiza un diseño descriptivo con los resultados obtenidos en el análisis de comparación entre las mezclas explosivas.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú.

3.4.2 Muestra

Zona Mineral de alta ley de las Fases 1 - 2.

3.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

➤ Descripción de las técnicas empleadas

- **Recopilación de datos**

Se buscó información histórica de proyectos disparados con la mezcla explosiva,

- **Observación directa**

Se realizó observaciones directas de la preparación en campo de ambas mezclas explosivas: Anfo Pesado Q73 del Proveedor actual y la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable de Famesa Explosivos. Así mismo se observó la velocidad de excavación o dig rate de la Pala en los proyectos disparados con la nueva mezcla explosiva.

- **Búsqueda de información bibliográfica**

Se utilizó esta técnica para tener una mejor comprensión acerca de la composición y propiedades de los explosivos. También se recurrió al análisis

de anteriores trabajos de investigación en la aplicación de otras mezclas explosivas similares en la unidad minera.

➤ **Instrumentos de recolección de datos**

• **Materiales**

- ✓ Planos y útiles de topografía
- ✓ Impresora
- ✓ Formatos de reporte de carguío
- ✓ Winchas
- ✓ Escalas de fragmentación
- ✓ Cables y conductores

• **Equipos**

- ✓ Laptop
- ✓ Tablet
- ✓ Microtrap (Equipo de registro de VOD)
- ✓ Multitester
- ✓ Vibracord (Sismógrafo)
- ✓ Vídeo Cámara Fotográfica
- ✓ Kit de control de densidades (balanza, termómetro, cronómetro, cartillas, paletas y vasos)

• **Software**

- ✓ Minesight (Cálculo de volumen, toneladas rotas y verificación del polígono de minado)
- ✓ JK SimBlast 2D Bench (Diseño de voladuras)
- ✓ Microsoft Office (Ingreso de datos de campo)

- ✓ Split Online (Análisis de fragmentación)
- ✓ Split Desktop (Análisis de fragmentación)
- ✓ Microsoft Office (Control de Productividad – Palas)

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Observación directa

Se utilizó esta técnica para el análisis de la presencia de gases nitrosos post-voladura, con la ayuda de la grabación del video y la observación directa en el momento de la voladura.

Análisis descriptivo – cuantitativo

Se utilizó este método para describir cuantitativamente, a través de los reportes y medios visuales, los parámetros de fragmentación, velocidad de excavación, factor de potencia y nivel de humos.

Trabajo de Campo

El trabajo de campo consistió en garantizar la calidad de la mezcla explosiva y cumplimiento del diseño de carga, realizando para ello controles de densidad, de esponjamiento, medición del taco inicial y final, además de fotografiar y grabar cada uno de los proyectos disparados.

Trabajo de Gabinete

El trabajo de gabinete consistió en calcular del factor de potencia para cada mezcla explosiva por tipo de malla, conservando el diseño de carga realizado por la compañía minera.

Post voladura se realizaron análisis y comparaciones de los resultados obtenidos en las pruebas con la línea base establecida.

3.7 Tratamiento Estadístico

Se realizan gráficos estadísticos en Microsoft Excel – Dashboard en POWER BI, y análisis de fragmentación en el software Split.

3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La selección de los datos con los que se trabajó para la elaboración de la presente tesis de investigación, se obtuvo de los reportes tomados en campo durante el proceso de pruebas.

Los resultados de factor de potencia, nivel de humos, fragmentación P80 y velocidad de excavación de las voladuras en el Tajo Toromocho, se validan a través de los reportes de voladura presentados al Área de Perforación y Voladura de Minera Chinalco Perú, estos resultados fueron expuestos ante la Superintendencia de Operaciones Mina.

Se garantiza la veracidad de la data empleada en los estudios, puesto que se obtiene a partir de la recolección de datos in situ, mediante el Software Split Online que la minera utiliza para reportar la fragmentación. La velocidad de excavación es reportada por el Área de Control de Producción, estos datos son en tiempo real. El cálculo del factor de potencia es realizado por la empresa especializada y supervisado por el Área de Perforación y Voladura. El nivel de humos es determinado a través de la grabación de los disparos, mediante ellos se realizan los comparativos de las mezclas explosivas, esto también es reportado al Área de Perforación y voladura.

3.9. Orientación ética

El trabajo de investigación se desarrolló dentro de los principios de la ética profesional, teniendo en cuenta los valores, principios y criterios, que una investigación debe tener. Cabe resaltar que el estudio es el resultado de las

experiencias obtenidas y de los trabajos que he realizado insitu en el tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del trabajo de campo

4.1.1 Línea Base Anfo Pesado Q73

La línea base está compuesta por información selectiva de proyectos disparados con la mezcla explosiva Anfo Pesado Q73 gasificado. A continuación se muestran los datos recogidos:

Fragmentación

Tabla 8: Fragmentación Línea base Anfo pesado Q73 gasificado.

N°	FASE	PROYECTO	DIÁMETRO (pulg)	MALLA (BxE)	P80 (pulg)
1	1	4500_01002	12 ¼	8.7 m x 10.0 m	5.78
2	1	4575_02013	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	4.86
3	1	4500_01003	12 ¼	8.7 m x 10.0 m	4.97

				6.9 m x 8.0 m	
4	1	4470_01003	12 ¼	5.2 m x 6.0 m	4.58
				4.8 m x 5.5 m	
5	2	4560_02006	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	5.39
				4.8 m x 5.5 m	
6	2	4590_02018	12 ¼	5.2 m x 6.0 m	4.75
7	2	4545_02005	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	5.02
PROMEDIO					5.05

Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Dig Rate o Velocidad de Excavación

Tabla 9: Dig Rate Línea base Anfo pesado Q73 gasificado.

N°	FASE	PROYECTO	DIÁMETRO (pulg)	MALLA (BxE)	Dig Rate (ton/h)
1	1	4500_01002	12 ¼	8.7 m x 10.0 m	8,802.50
2	1	4575_02013	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	9,401.60
3	1	4500_01003	12 ¼	8.7 m x 10.0 m	9,721.99
				6.9 m x 8.0 m	
4	1	4470_01003	12 ¼	5.2 m x 6.0 m	9,140.30
				4.8 m x 5.5 m	
5	2	4560_02006	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	8,594.60
				4.8 m x 5.5 m	
6	2	4590_02018	12 ¼	5.2 m x 6.0 m	8,826.70
7	2	4545_02005	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	8,945.30
PROMEDIO					9,061.86

Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Factor de Potencia

Tabla 10: Factor de Potencia Línea base Anfo pesado Q73 gasificado.

N°	FASE	PROYECTO	DUREZA	DIÁMETRO (pulg)	MALLA (BxE)	FACTOR DE POTENCIA (kg/ton)
1	1	4500_01002	Medianamente Fuerte	12 ¼	8.7 m x 10.0 m	0.30
2	1	4575_02013	Medianamente Fuerte	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	0.30
3	1	4500_01003	Medianamente Fuerte	12 ¼	8.7 m x 10.0 m	0.29
			Medianamente Fuerte		6.9 m x 8.0 m	0.32
4	1	4470_01003	Fuerte	12 ¼	5.2 m x 6.0 m	0.81
			Fuerte		4.8 m x 5.5 m	0.92
5	2	4560_02006	Medianamente Fuerte	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	0.47
			Fuerte		4.8 m x 5.5 m	0.91
6	2	4590_02018	Fuerte	12 ¼	5.2 m x 6.0 m	0.80
7	2	4545_02005	Medianamente Fuerte	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	0.31
PROMEDIO						0.54

Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Nivel de Humos

Tabla 11: Factor de Potencia Línea base Anfo pesado Q73 gasificado.

N°	FASE	PROYECTO	NIVEL DE HUMOS
1	2	4575_02013	2
2	1	4470_01003	2
3	2	4560_02006	4

4	2	4590_02018	3
5	2	4545_02005	2

Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

4.1.2 Pruebas con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable

Se realizaron un total de 8 disparos en la Fase 1 y Fase 2 del Tajo Toromocho.

Todos los disparos fueron en material mineral, a continuación se describen los disparos:

1^{er} Disparo: PY 4500_01001

Tabla 12: Parámetros PY 4500_01001.

PROYECTO	4500_01001
FASE	1
MALLA (BxE)	8.70 m x 10.0 m
N° TALADROS	181
ALTURA DE BANCO (m)	15
SOBREPERFORACIÓN (m)	2
Ø PERFORACIÓN (pulg)	12 ¼

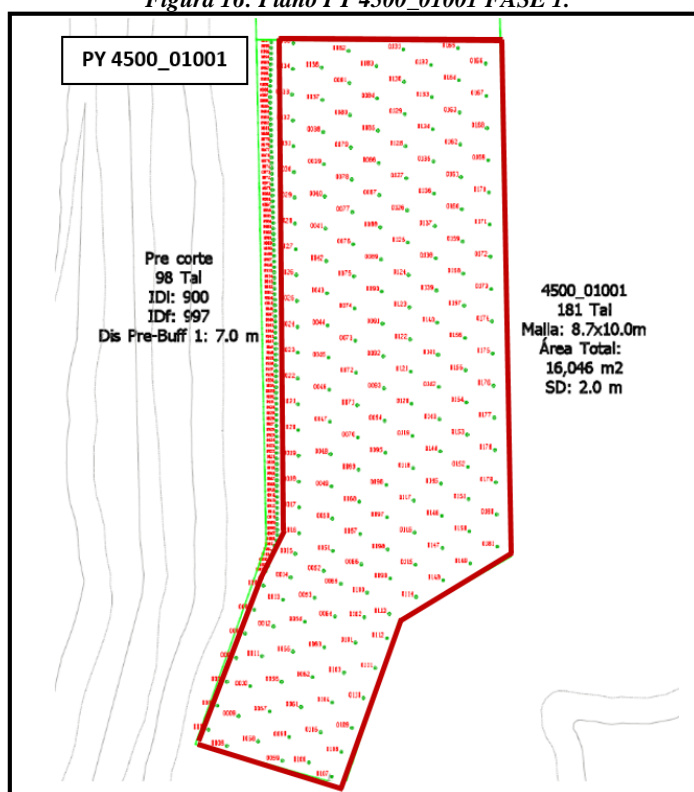
Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 15: PY 4500_01001 FASE I.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 16: Plano PY 4500_01001 FASE I.

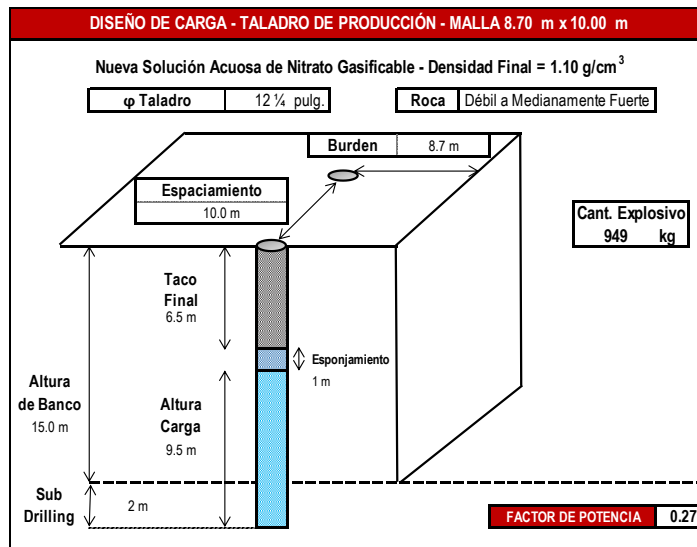


Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Diseños de Carga por Taladro PY 4500_01001

Taladro de Producción Malla 8.70 m x 10.0 m = 150 taladros

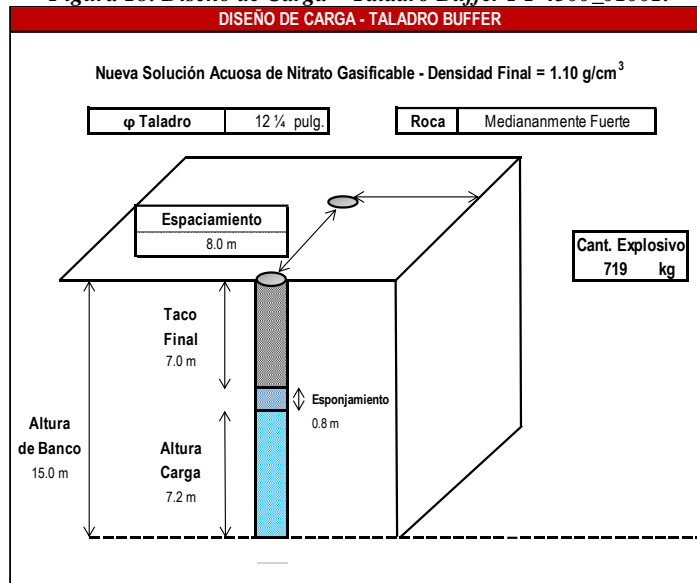
Figura 17: Diseño de Carga – Taladro de Producción PY 4500_01001.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Taladro Buffer = 31 taladros

Figura 18: Diseño de Carga – Taladro Buffer PY 4500_01001.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Fragmentación PY 4500_01001

La Pala 02 Minó el PY 4500_01001 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores:

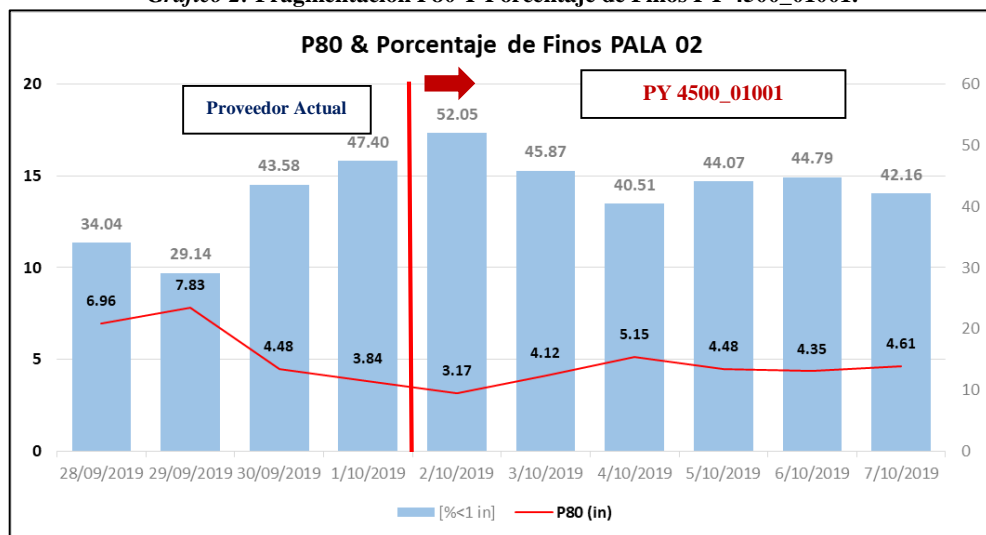
Tabla 13: Valores P80 Y % de Finos PY 4500_01001.

FRAGMENTACIÓN PY 4500_01001		
FECHA	P80 (in)	[%<1 in]

2/10/2019	3.17	52.05
3/10/2019	4.12	45.87
4/10/2019	5.15	40.51
5/10/2019	4.48	44.07
6/10/2019	4.35	44.79
7/10/2019	4.61	42.16
PROMEDIO	4.31	44.91

Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 2: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4500_01001.



Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Dig Rate o Velocidad de Excavación PY 4500_01001

La Pala 02 Minó el PY 4500_01001 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 14: Dig Rate PY 4500_01001.

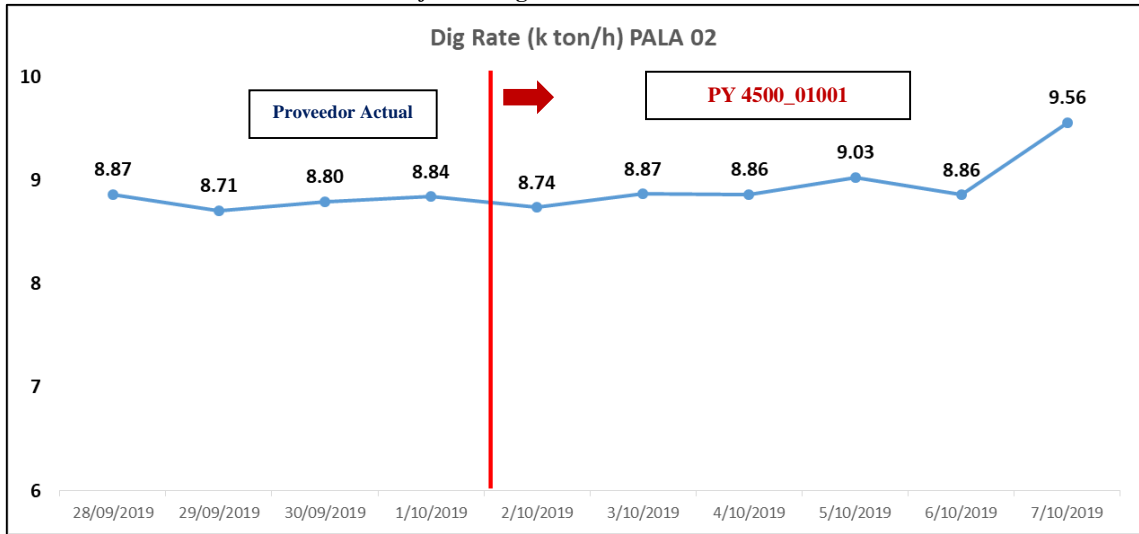
DIG RATE PY 4500_01001	
FECHA	(k ton/h)
2/10/2019	8.74
3/10/2019	8.87
4/10/2019	8.86
5/10/2019	9.03

6/10/2019 8.86
 7/10/2019 9.56

PROMEDIO 8.99

Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 3: Dig Rate PY 4500_01001.



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Factor de Potencia PY 4500_01001

En el disparo del PY 4500_01001, se utilizó 165,099.00 kilogramos de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable; y se rompió 612,562.00 toneladas de mineral. Obteniendo un Factor de Potencia de 0.27 kg/ton, cumpliendo así el Factor de Potencia Teórico o de diseño.

Tabla 15: Factor de Potencia PY 4500_01001.

EXPLOSIVO USADO (kg)	MATERIAL ROTO (ton)	FACTOR DE POTENCIA (kg/ton)
165,099.00	612,562.00	0.27

Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Post Voladura PY 4500_01001

Figura 19: Post Voladura PY 4500_01001.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

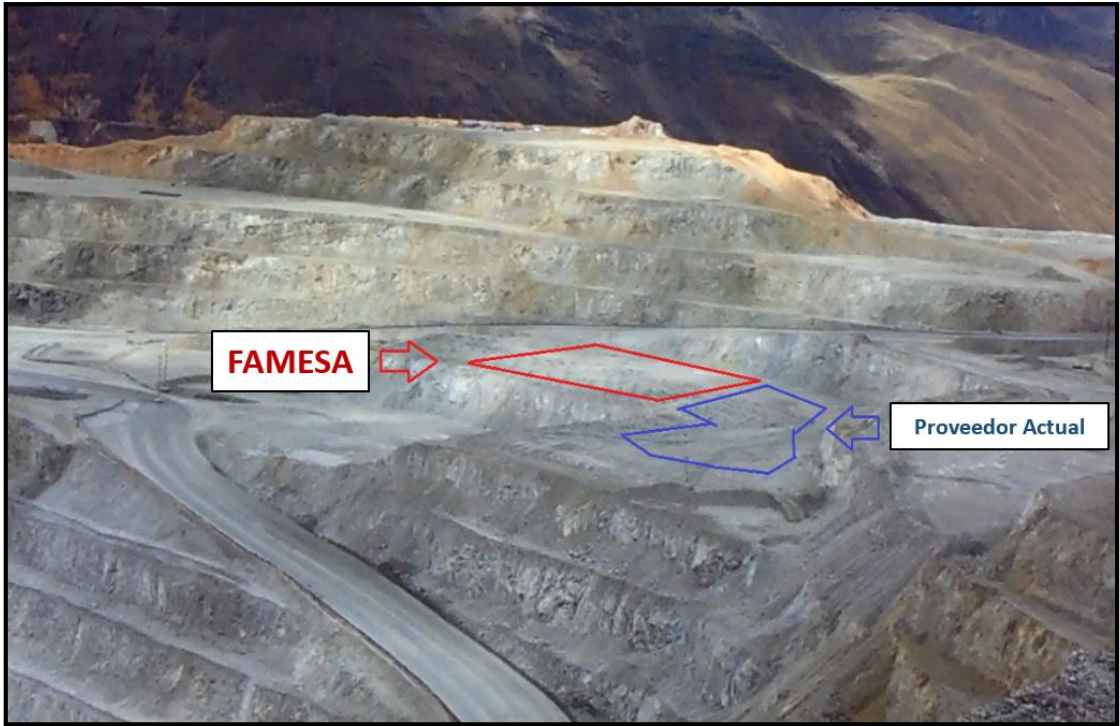
2do disparo PY 4575_02013

Tabla 16: Parámetros PY 4575_02013.

PROYECTO	4575_02013
FASE	2
MALLA (BxE)	5.60 m x 6.50 m – 6.90 m x 8.00 m
N° TALADROS	208
ALTURA DE BANCO (m)	15
SOBREPERFORACIÓN (m)	2
Ø PERFORACIÓN (pulg)	12 ¼

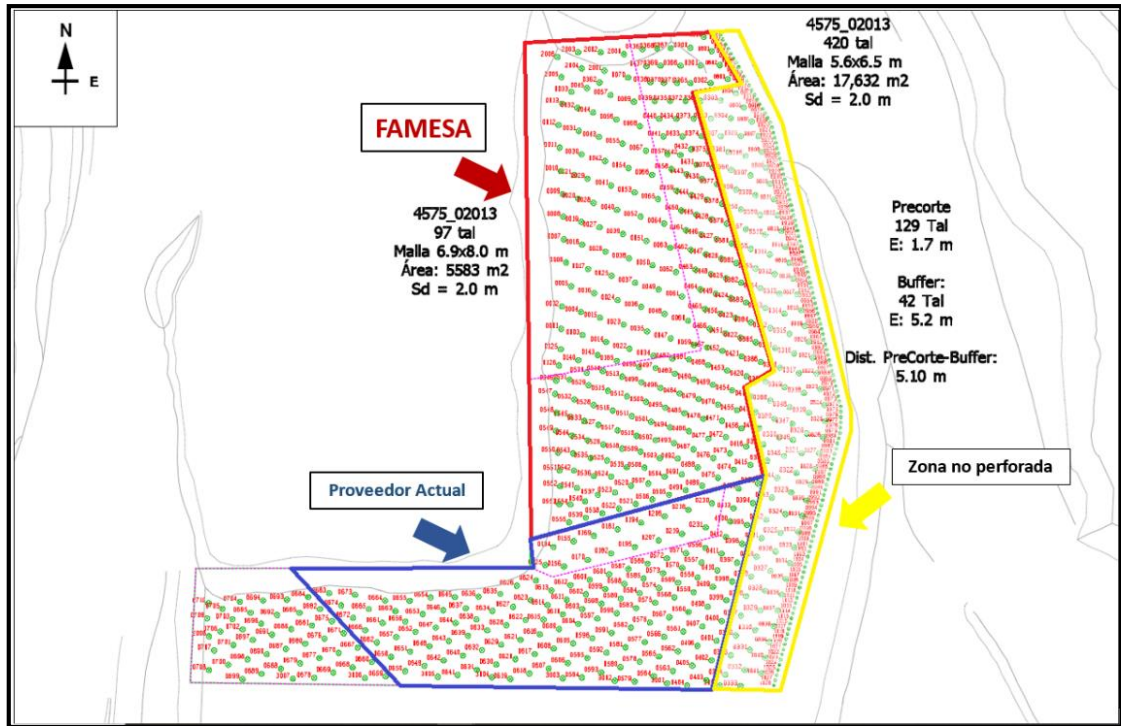
Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 20: PY 4575_02013 FASE 2.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 21: Plano PY 4575_02013 FASE 2.

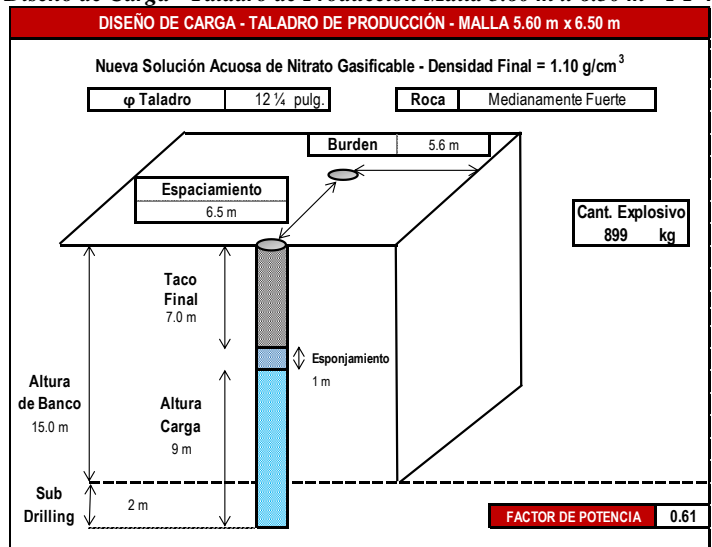


Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Diseño de Carga por Taladro PY 4575_02013

Taladro de Producción Malla 5.60 m x 6.50 m = 127 Taladros

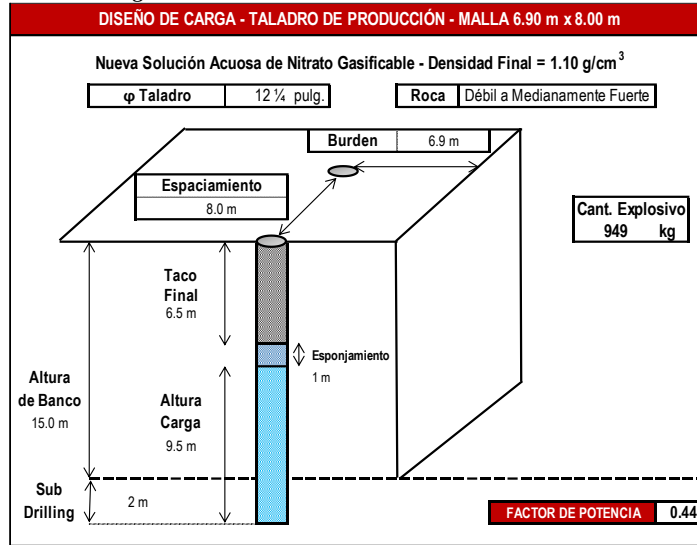
Figura 22: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 5.60 m x 6.50 m - PY 4575_02013.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Taladro de Producción Malla 5.60 m x 6.50 m = 81 Taladros

Figura 23: Diseño de Carga - Taladro de Producción – Malla 6.90 m x 8.00 m - PY 4575_02013.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Fragmentación PY 4575_02013

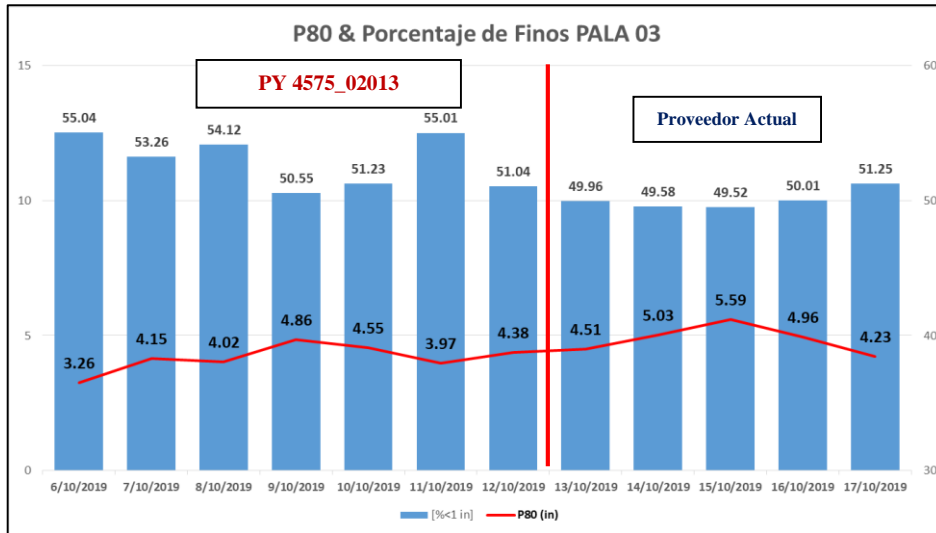
La Pala 03 Minó el PY 4575_02013 disparado por Famesa Explosivos y el proveedor actual, obteniendo los siguientes valores detallados en la Tabla 18:

Tabla 17: Valores P80 Y % de Finos PY 4575_02013.

FRAGMENTACIÓN PY 4575_02013		
FECHA	P80 (in)	[%<1 in]
6/10/2019	3.26	55.04
7/10/2019	4.15	53.26
8/10/2019	4.02	54.12
9/10/2019	4.86	50.55
10/10/2019	4.55	51.23
11/10/2019	3.97	55.01
12/10/2019	4.38	51.04
PROMEDIO	4.17	52.89

Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 4: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4575_02013.



Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Dig Rate o Velocidad de Excavación PY 4575_02013

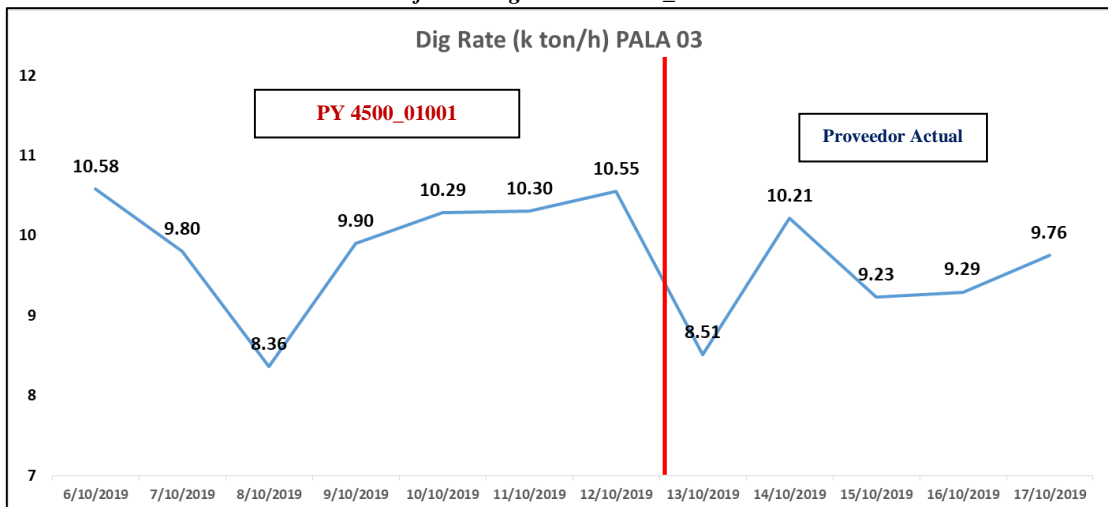
La Pala 03 Minó el PY 4500_01001 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores especificados en la Tabla 19:

Tabla 18: Dig Rate PY 4545_02013.

DIG RATE PY 4575_02013	
FECHA	(k ton/h)
6/10/2019	10.58
7/10/2019	9.80
8/10/2019	8.36
9/10/2019	9.90
10/10/2019	10.29
11/10/2019	10.30
12/10/2019	10.55
PROMEDIO	9.97

Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 5: Dig Rate PY 4575_02013.



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Factor de Potencia PY 4575_02013

En el disparo del PY 4575_02013, se utilizó 193,603.00 kilogramos de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable; y se rompió 383,077.00 toneladas de mineral. Obteniendo un Factor de Potencia de 0.51 kg/ton.

Tabla 19: Factor de Potencia PY 4575_02013.

EXPLOSIVO USADO (kg)	MATERIAL ROTO (ton)	FACTOR DE POTENCIA (kg/ton)
193,603.00	383,077.00	0.51

Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Nivel de Humos PY 4575_02013

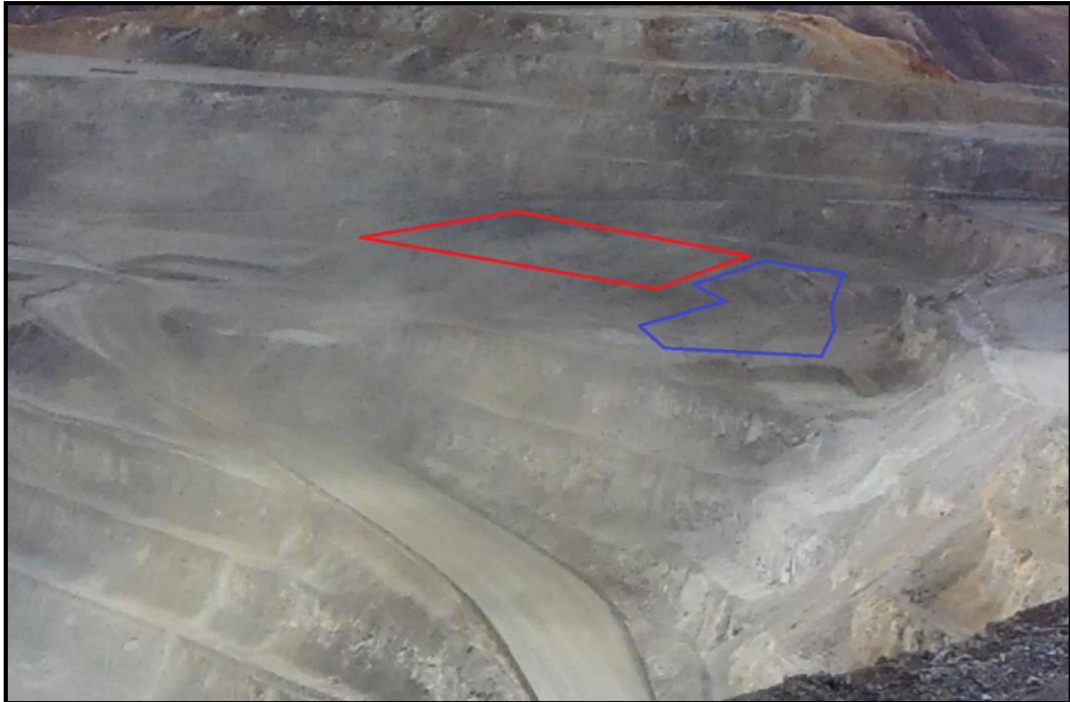
Figura 24: Nivel de Humos o Gases Nitrosos PY 4575_02013.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromochó.

Post Voladura PY 4575_02013

Figura 25: Post Voladura PY 4575_02013.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

3er Disparo PY 4500_01004_01005

Tabla 20: Parámetros PY 4500_01004_01005.

PROYECTO	4500_01005_01005
FASE	1
MALLA (BxE)	6.50 m x 7.50 m – 6.90 m x 8.00 m – 8.70 m x 10.0 m
N° TALADROS	373
ALTURA DE BANCO (m)	15
SOBREPERFORACIÓN (m)	2
Ø PERFORACIÓN (pulg)	12 ¼

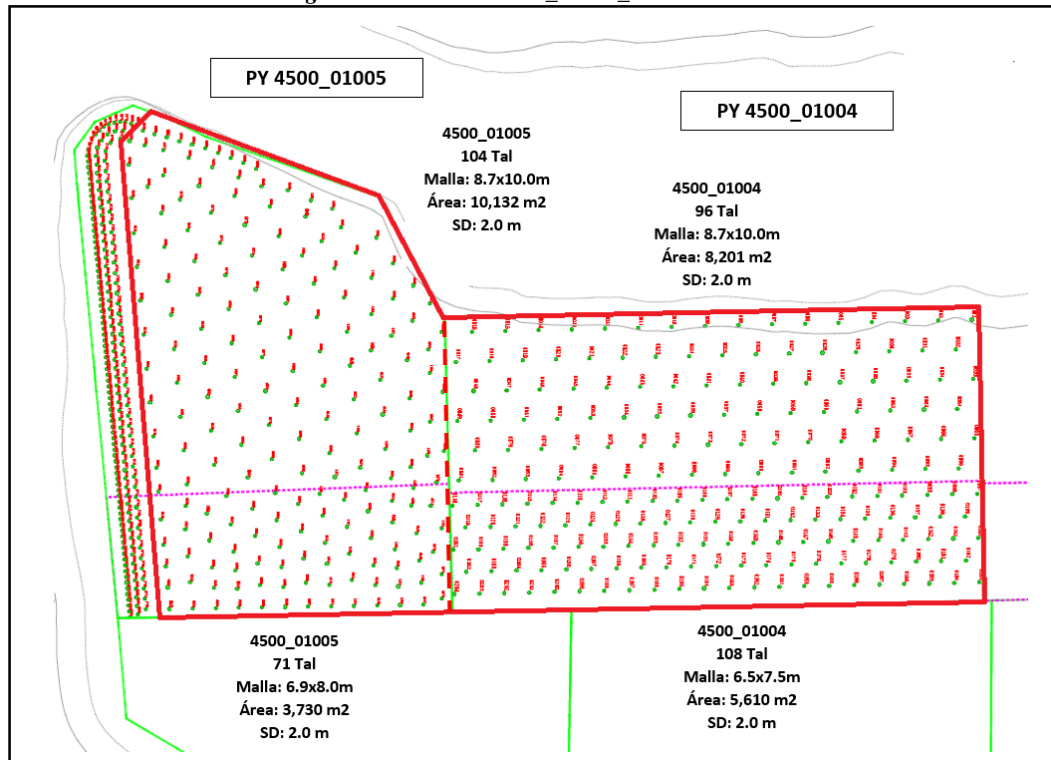
Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 26: PY 4500_01004_01005 FASE I.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 27: Plano PY 4500_01004_01005 FASE I.

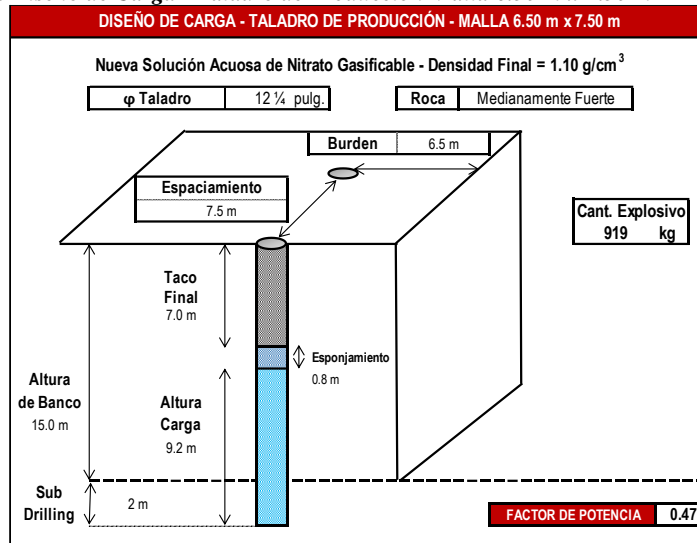


Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Diseño de Carga por Taladro PY 4500_01004_01005

Taladro de Producción Malla 6.50 m x 7.50 m = 105 Taladros

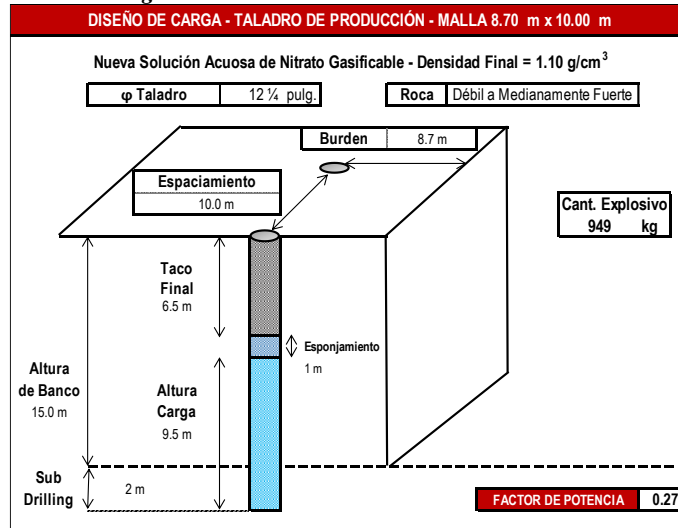
Figura 28: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 6.50 m x 7.50 m PY 4500_01004.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Taladro de Producción Malla 8.70 m x 10.0 m = 96 Taladros

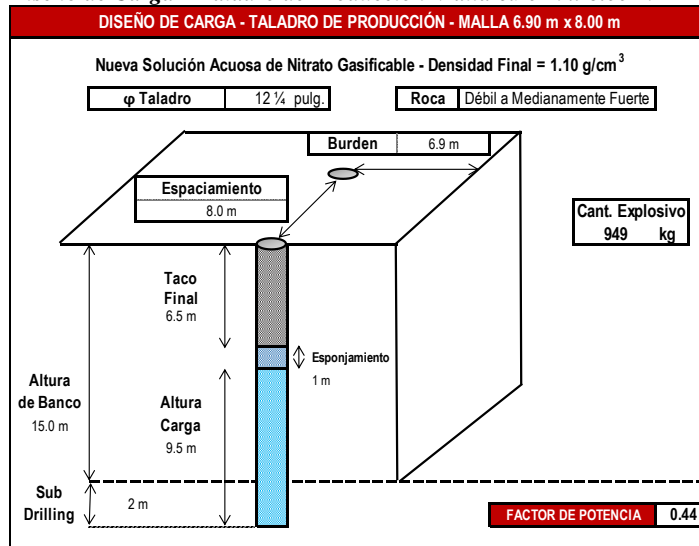
Figura 29: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 8.70 m x 10.0 m PY 4500_01004.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Taladro de Producción Malla 6.90 m x 8.00 m = 68 Taladros

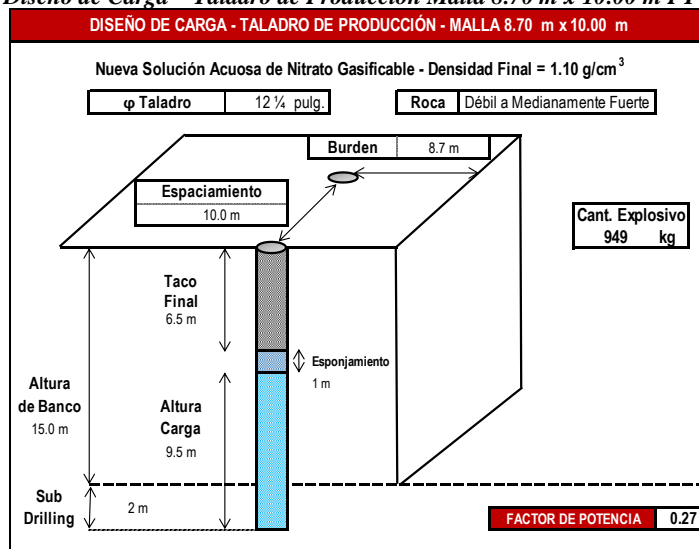
Figura 30: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 6.90 m x 8.00 m PY 4500_01005.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Taladro de Producción Malla 8.70 m x 10.00 m = 104 Taladros

Figura 31: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 8.70 m x 10.00 m PY 4500_01005.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Fragmentación PY 4500_01004_01005

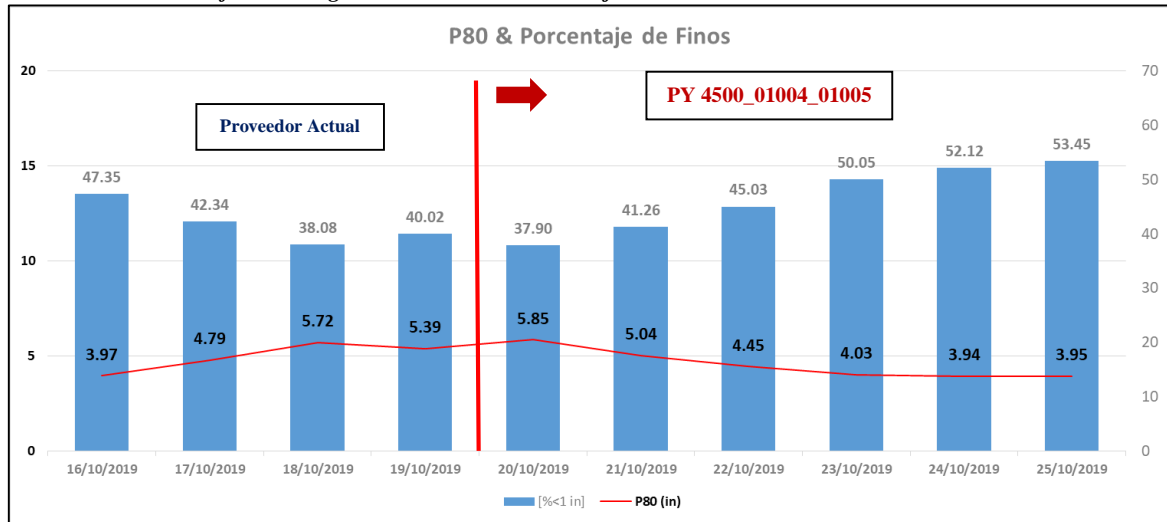
La Pala 02 Minó el PY 4500_01004_01005 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 21: Valores P80 Y % de Finos PY 4500_01004_01005.

FRAGMENTACIÓN PY 4500_01004_01005		
FECHA	P80 (in)	[%<1 in]
20/10/2019	5.85	37.90
21/10/2019	5.04	41.26
22/10/2019	4.45	45.03
23/10/2019	4.03	50.05
24/10/2019	3.94	52.12
25/10/2019	3.95	53.45
PROMEDIO	4.97	46.64

Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 6: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4500_01004_01005.



Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Dig Rate o Velocidad de Excavación PY 4500_01004_01005

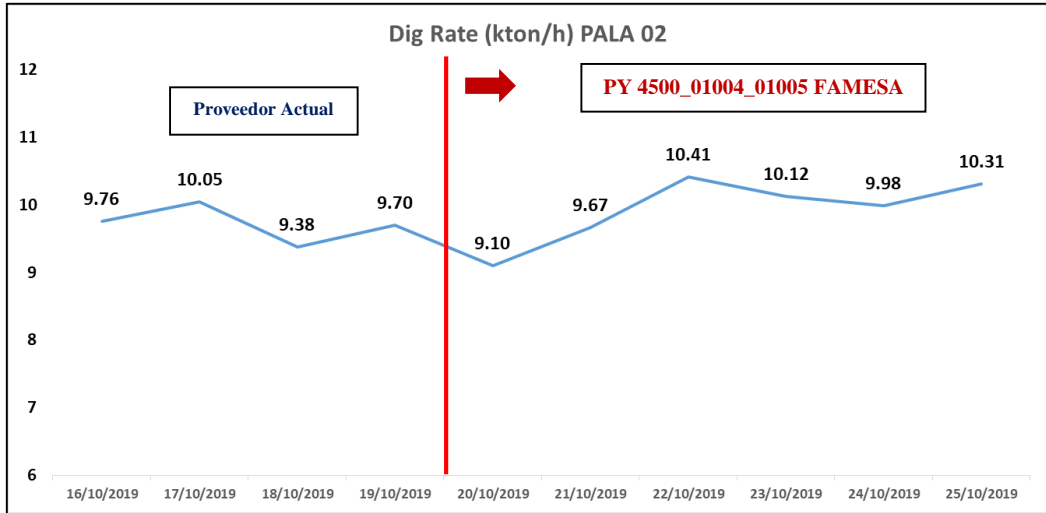
La Pala 02 Minó el PY 4500_01004_01005 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 22: Dig Rate PY 4500_01004_01005.

DIG RATE PY 4500_01004_01005	
FECHA	(k ton/h)
20/10/2019	9.10
21/10/2019	9.67
22/10/2019	10.41
23/10/2019	10.12
24/10/2019	9.98
25/10/2019	10.31
PROMEDIO	9.93

Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 7: Dig Rate PY 4500_01004_01005.



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Factor de Potencia PY 4500_01004_01005

En el disparo del PY 4500_01004_01005, se utilizó 345,844.00 kilogramos de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable; y se rompió 1’038,892.00 toneladas de mineral. Obteniendo un Factor de Potencia de 0.33 kg/ton.

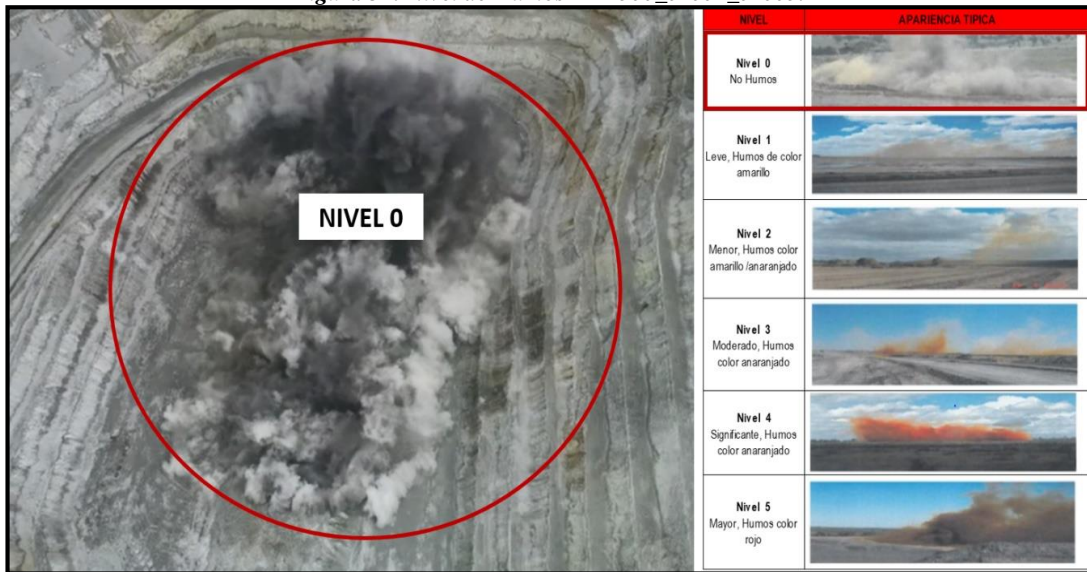
Tabla 23: Factor de Potencia PY 4500_01004_01005.

EXPLOSIVO USADO (kg)	MATERIAL ROTO (ton)	FACTOR DE POTENCIA (kg/ton)
345,844.00	1,038,892.00	0.33

Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Nivel de Humos PY 4500_01004_01005

Figura 32: Nivel de Humos PY 4500_01004_01005.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

Post Voladura PY 4500_01004_01005

Figura 33: Post Voladura PY 4500_01004_01005.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

4to Disparo PY 4470_01004

Se disparó 184 taladros en 2 diferentes mallas de perforación: 4.80 m x 5.50 m y 5.20 m x 6.00 m.

Tabla 24: Parámetros PY 4470_01004.

PROYECTO	4470_01004
FASE	1
MALLA (BxE)	4.80 m x 5.50 m – 5.20 m x 6.00 m
N° TALADROS	184
ALTURA DE BANCO (m)	15
SOBREPERFORACIÓN (m)	1.5
Ø PERFORACIÓN (pulg)	12 ¼

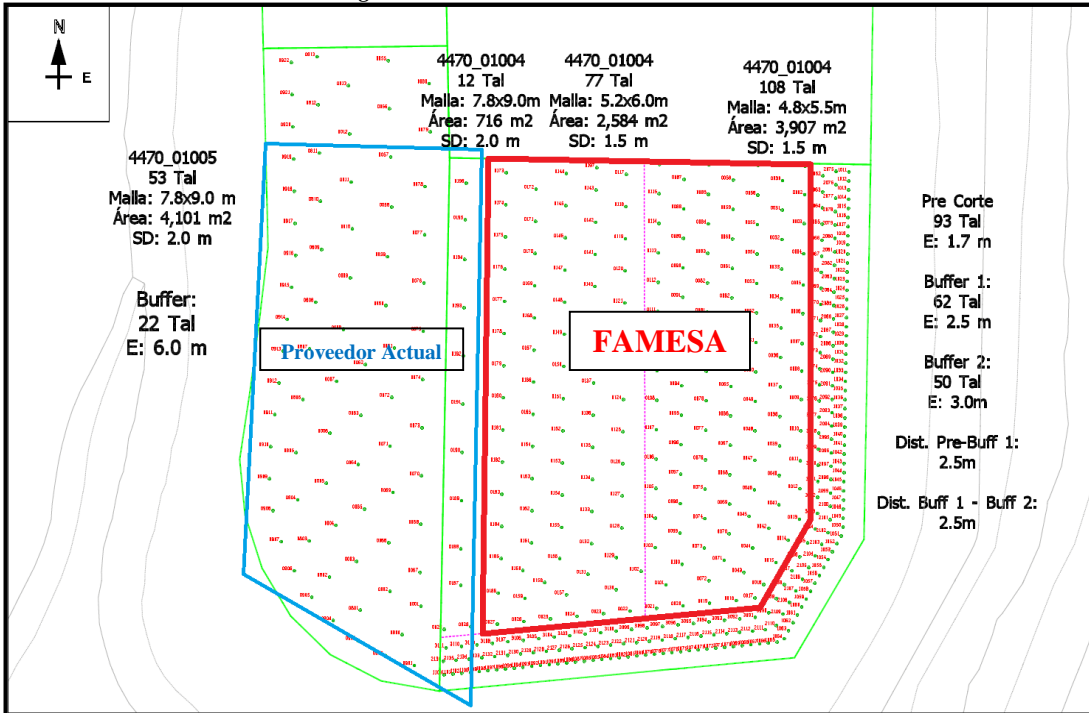
Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 34: PY 4470_01004_01004 FASE 1.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 35: Plano PY 4470_01004 FASE I.

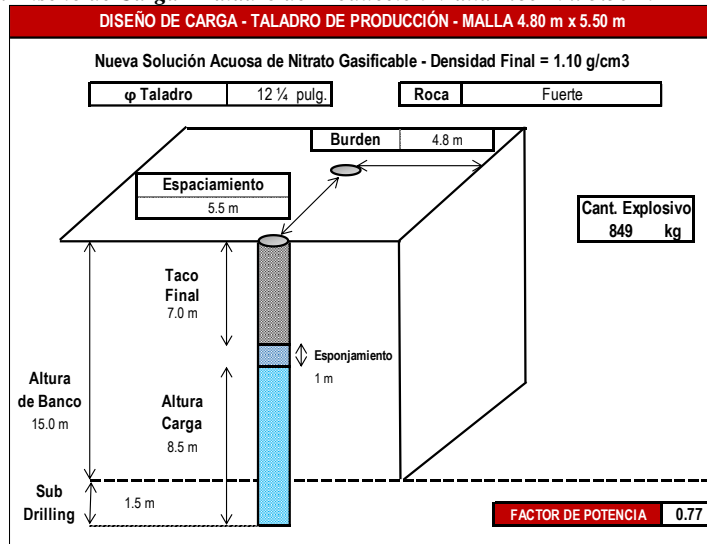


Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Diseños de Carga por Taladro PY 4470_01004

Taladro de Producción Malla 4.80 m x 5.50 m = 108 Taladros

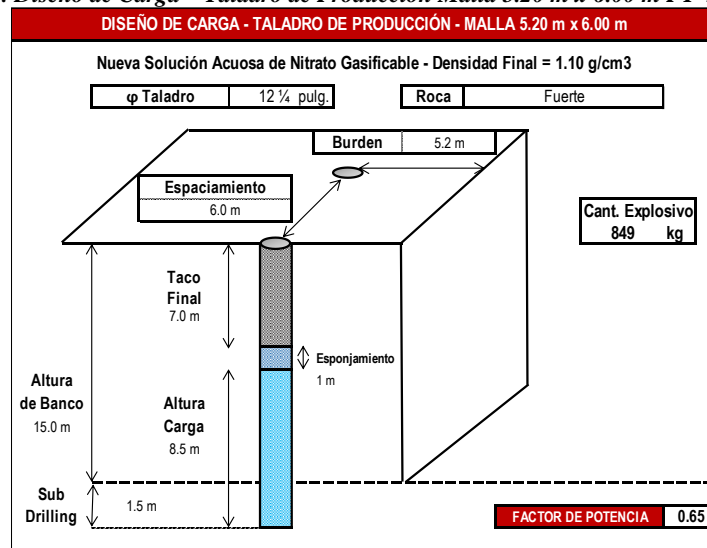
Figura 36: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 4.80 m x 5.50 m PY 4470_01004.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Taladro de Producción Malla 5.20 m x 6.00 m = 76 Taladros

Figura 37: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 5.20 m x 6.00 m PY 4470_01004.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Fragmentación PY 4470_01004

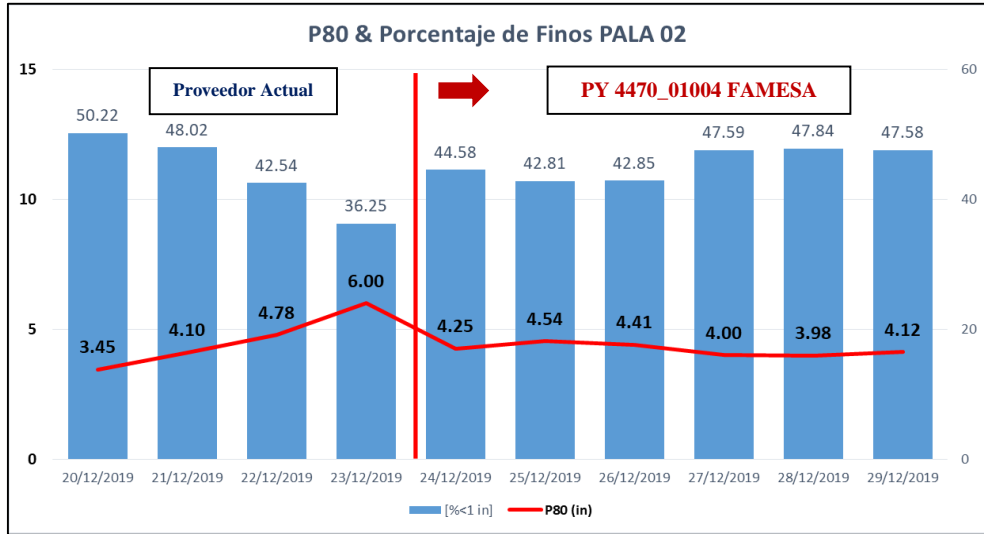
La Pala 02 Minó el PY 4470_01004 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 25: Valores P80 Y % de Finos PY 4470_01004.

FRAGMENTACIÓN PY 4470_01004		
FECHA	P80 (in)	[%<1 in]
24/12/2019	4.25	44.58
25/12/2019	4.54	42.81
26/12/2019	4.41	42.85
27/12/2019	4.00	47.59
28/12/2019	3.98	47.84
29/12/2019	4.12	47.58
PROMEDIO	4.22	45.54

Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 8: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4470_01004.



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Dig Rate o Velocidad de Excavación PY 4470_01004

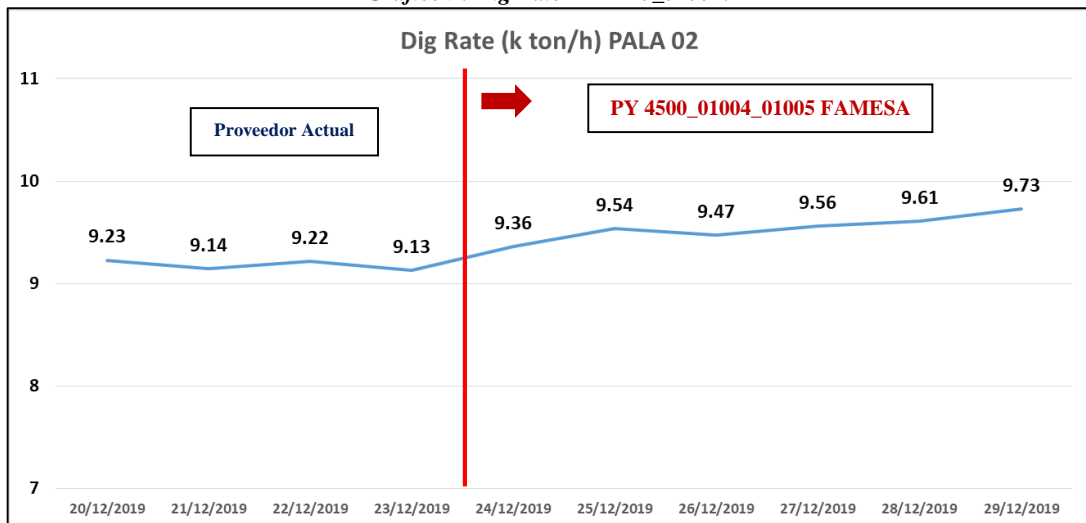
La Pala 02 Minó el PY 4470_01004 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 26: Dig Rate PY 4470_01004.

DIG RATE PY 4470_01004	
FECHA	(kton/h)
24/12/2019	9.36
25/12/2019	9.54
26/12/2019	9.47
27/12/2019	9.56
28/12/2019	9.61
29/12/2019	9.73
PROMEDIO	9.55

Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 9: Dig Rate PY 4470_01004.



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Factor de Potencia PY 4470_01004

En el disparo del PY 4470_01004, se utilizó 175,755.00 kilogramos de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable; y se rompió 243,412.00 toneladas de mineral. Obteniendo un Factor de Potencia de 0.72 kg/ton.

Tabla 27: Factor de Potencia PY 4470_01004.

EXPLOSIVO USADO (kg)	MATERIAL ROTO (ton)	FACTOR DE POTENCIA (kg/ton)
175,755.00	243,412.00	0.72

Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Nivel de Humos PY 4470_01004

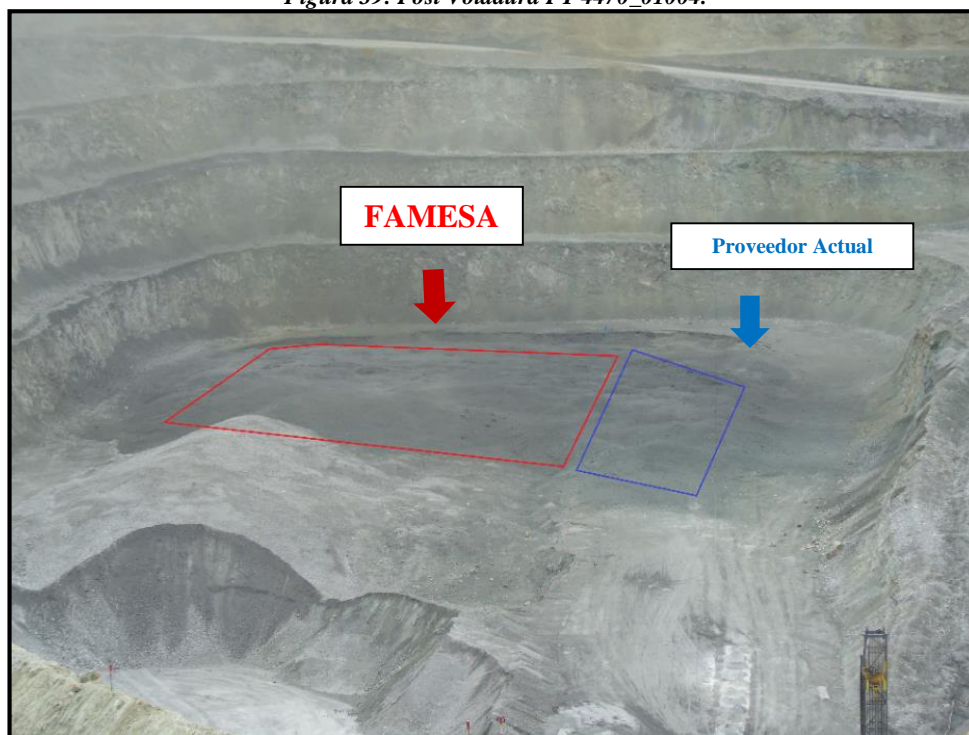
Figura 38: Nivel de Humos PY 4470_01004.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

Post Voladura PY 4470_01004

Figura 39: Post Voladura PY 4470_01004.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

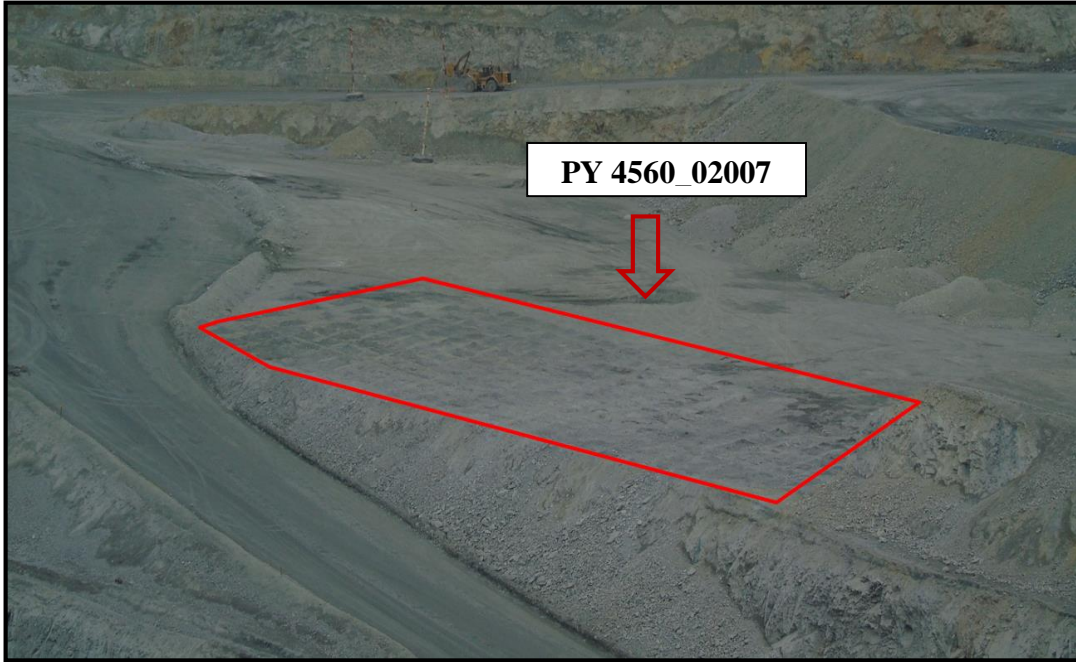
5to Disparo PY 4560_02007

Tabla 28: Parámetros PY 4560_02007.

PROYECTO	4560_02007
FASE	2
MALLA (BxE)	4.30 m x 5.00 m – 4.80 m x 5.50 m – 6.90 m x 8.00 m
N° TALADROS	308
ALTURA DE BANCO (m)	15
SOBREPERFORACIÓN (m)	1.00 – 2.50
Ø PERFORACIÓN (pulg)	7 7/8 - 12 1/4

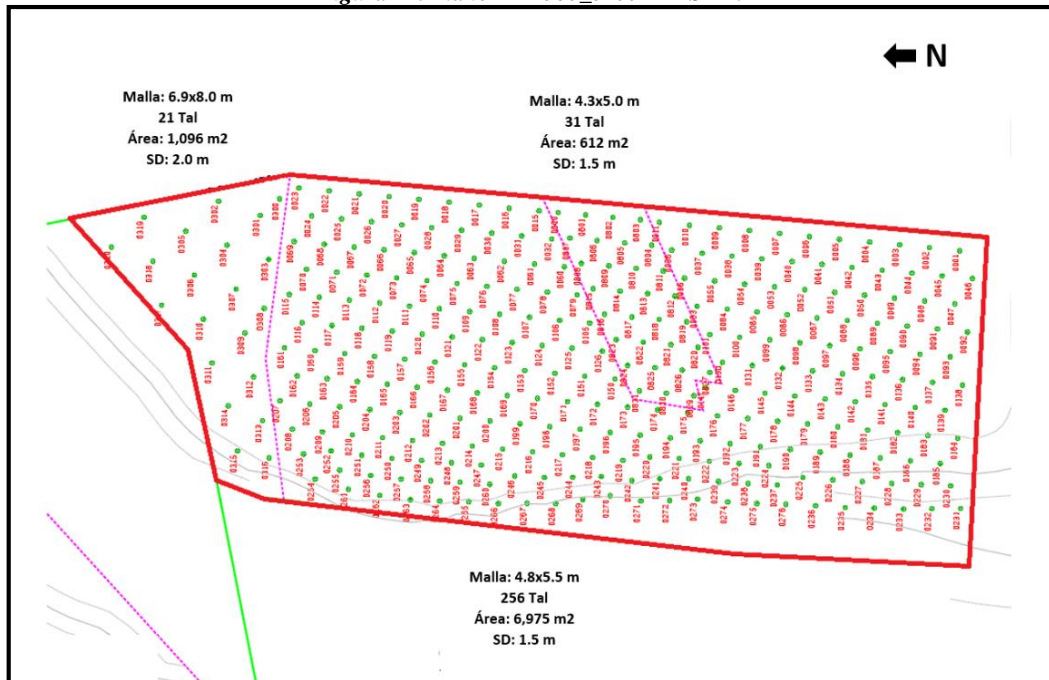
Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 40: PY 4560_02007 FASE 2.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 41: Plano PY 4560_02007 FASE 2.

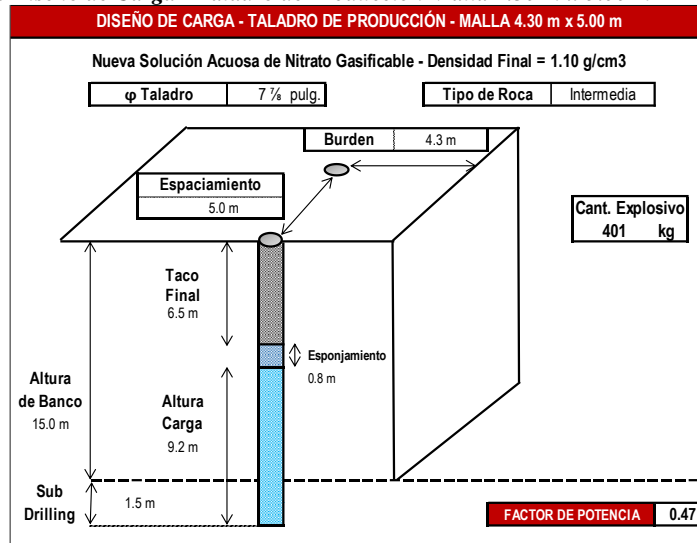


Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Diseños de Carga por Taladro PY 4560_02007

Taladro de Producción Malla 4.30 m x 5.00 m = 31 Taladros

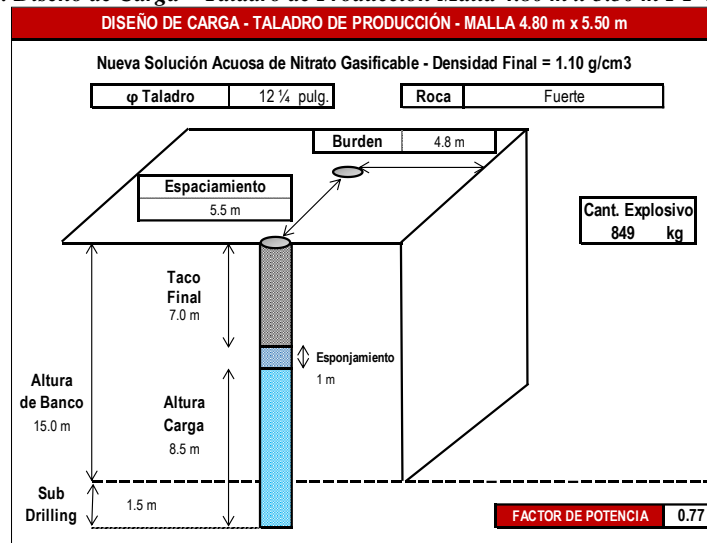
Figura 42: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 4.30 m x 5.00 m PY 4560_02007.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Taladro de Producción Malla 4.80 m x 5.50 m = 256 Taladros

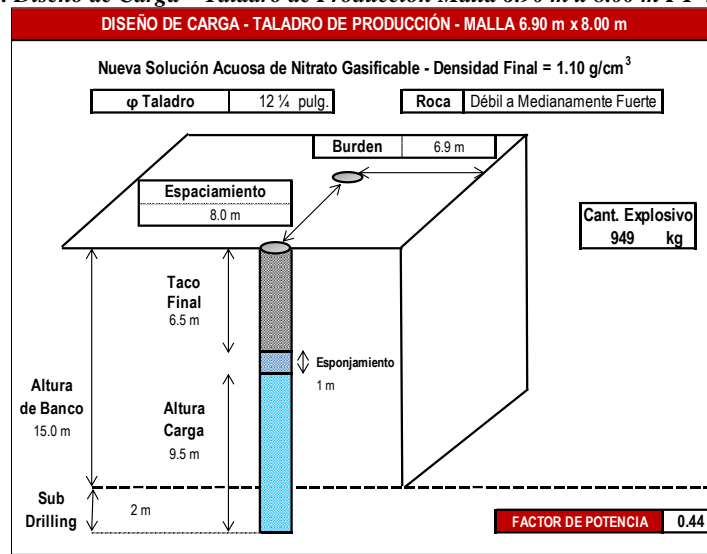
Figura 43: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 4.80 m x 5.50 m PY 4560_02007.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Taladro de Producción Malla 6.90 m x 8.00 m = 21 Taladros

Figura 44: Diseño de Carga – Taladro de Producción Malla 6.90 m x 8.00 m PY 4560_02007.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Fragmentación PY 4560_02007

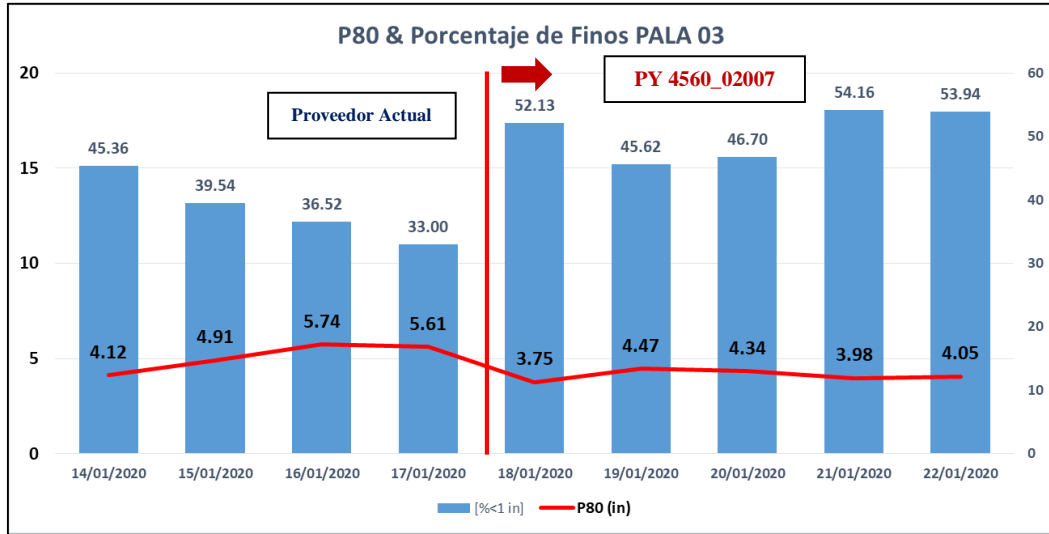
La Pala 03 Minó el PY 4560_02007 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 29: Valores P80 Y % de Finos PY 4560_02007.

FRAGMENTACIÓN PY 4560_02007		
FECHA	P80 (in)	[%<1 in]
18/01/2020	3.75	52.13
19/01/2020	4.47	45.62
20/01/2020	4.34	46.70
21/01/2020	3.98	54.16
22/01/2020	4.05	53.94
PROMEDIO	4.12	50.51

Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 10: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4560_02007.



Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Dig Rate o Velocidad de excavación PY 4560_02007

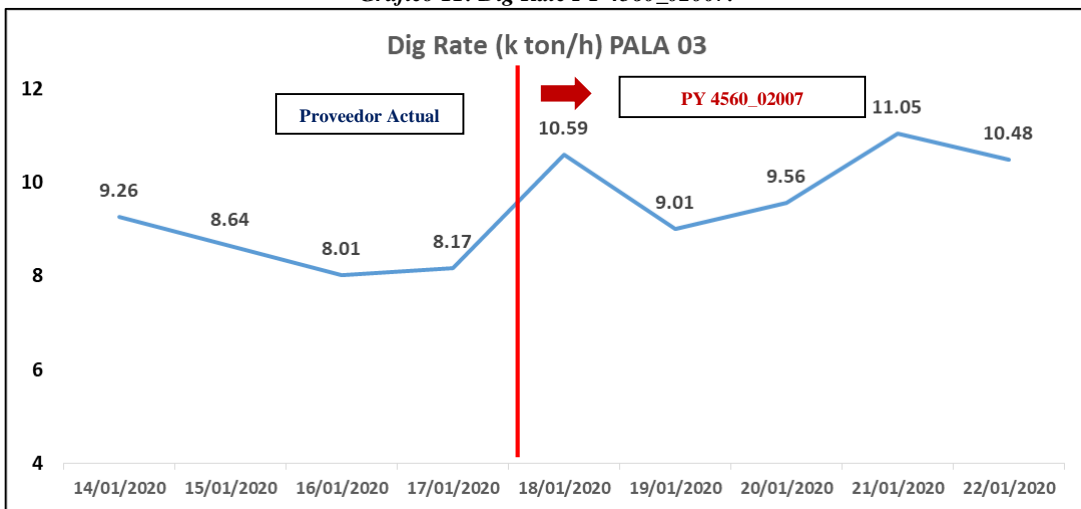
La Pala 03 Minó el PY 4560_02007 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 30: Dig Rate PY 4560_02007.

DIG RATE PY 4560_02007	
FECHA	(k ton/h)
18/01/2020	10.59
19/01/2020	9.01
20/01/2020	9.56
21/01/2020	11.05
22/01/2020	10.48
PROMEDIO	10.14

Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 11: Dig Rate PY 4560_02007.



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Factor de Potencia PY 4560_02007

En el disparo del PY 4560_02007, se utilizó 250,076.00 kilogramos de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable; y se rompió 353,274.00 toneladas de mineral. Obteniendo un Factor de Potencia de 0.71 kg/ton.

Tabla 31: Factor de Potencia PY 4560_02007.

EXPLOSIVO USADO (kg)	MATERIAL ROTO (ton)	FACTOR DE POTENCIA (kg/ton)
250,076.00	353,274.00	0.71

Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Nivel de Humos PY 4560_02007

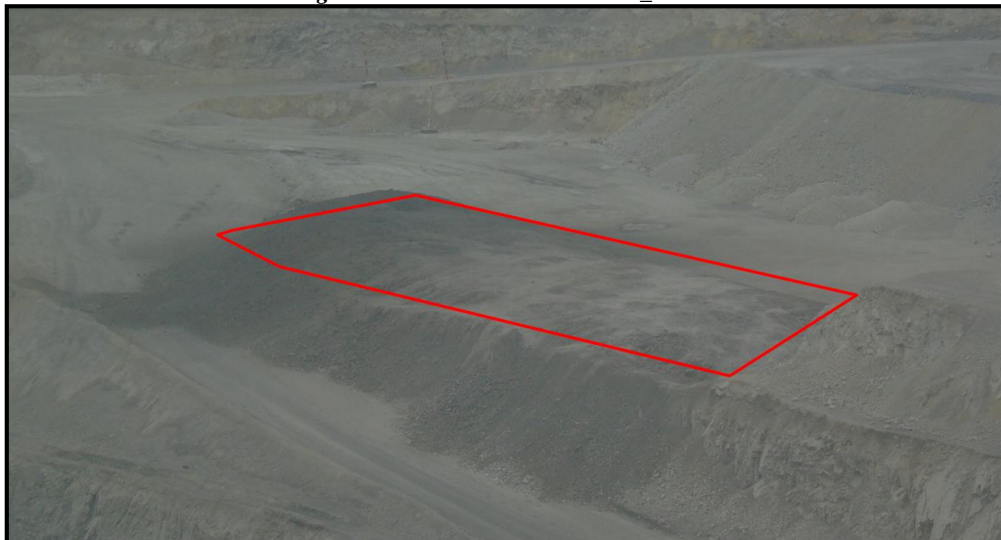
Figura 45: Nivel de Humos PY 4560_02007.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

Post Voladura 4560_02007

Figura 46: Post Voladura PY 4560_02007.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

6to Disparo PY 4575_02014

Tabla 32: Parámetros PY 4575_02014.

PROYECTO	4575_02014
FASE	2
MALLA (BxE)	3.45 m x 4.00 m – 5.20 m x 6.00 m
N° TALADROS	321
ALTURA DE BANCO (m)	15
SOBREPERFORACIÓN (m)	1.00 – 2.50
Ø PERFORACIÓN (pulg)	7 7/8 - 12 1/4

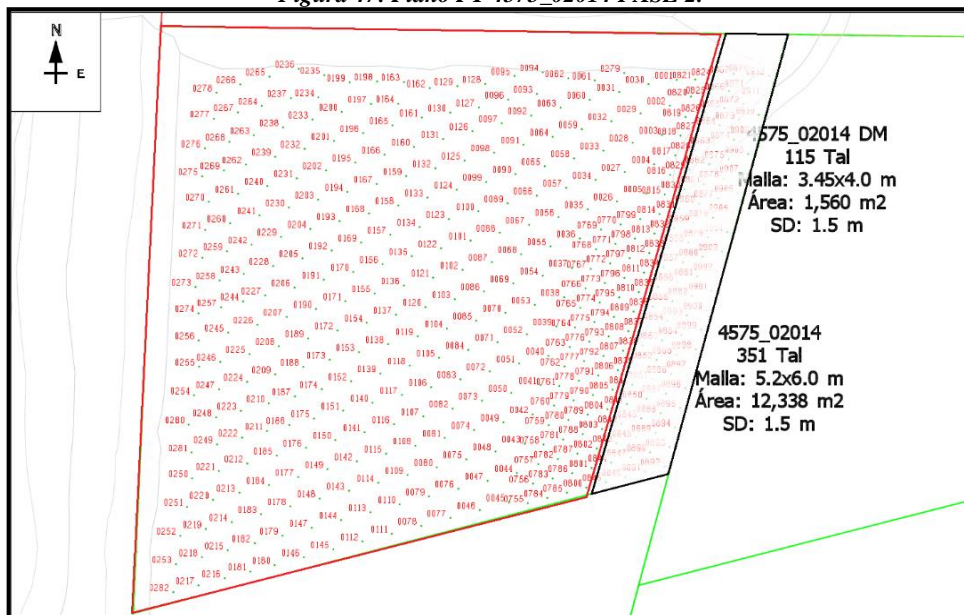
Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 46: PY 4575_02014 FASE 2



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 47: Plano PY 4575_02014 FASE 2.

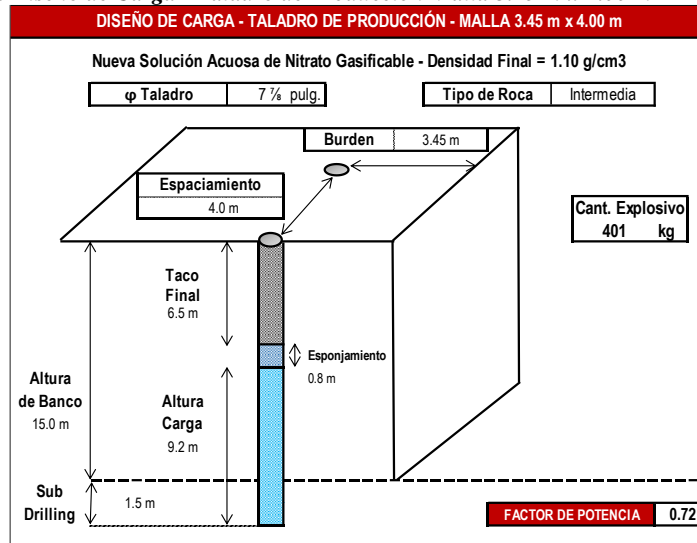


Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Diseños de Carga por Taladro PY 4575_02014

Taladro de Producción Malla 3.45 m x 4.00 m = 59 Taladros

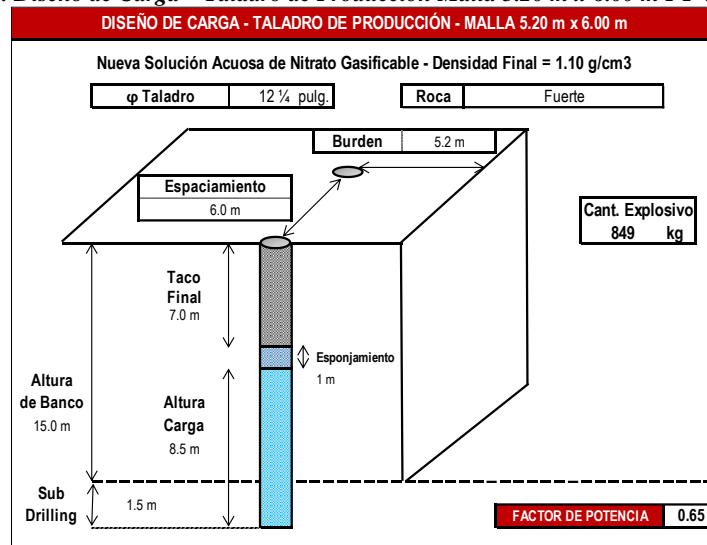
Figura 48: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 3.45 m x 4.00 m PY 4575_02014.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Taladro de Producción Malla 5.20 m x 6.00 m = 262 Taladros

Figura 49: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 5.20 m x 6.00 m PY 4575_02014.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Fragmentación PY 4575_02014

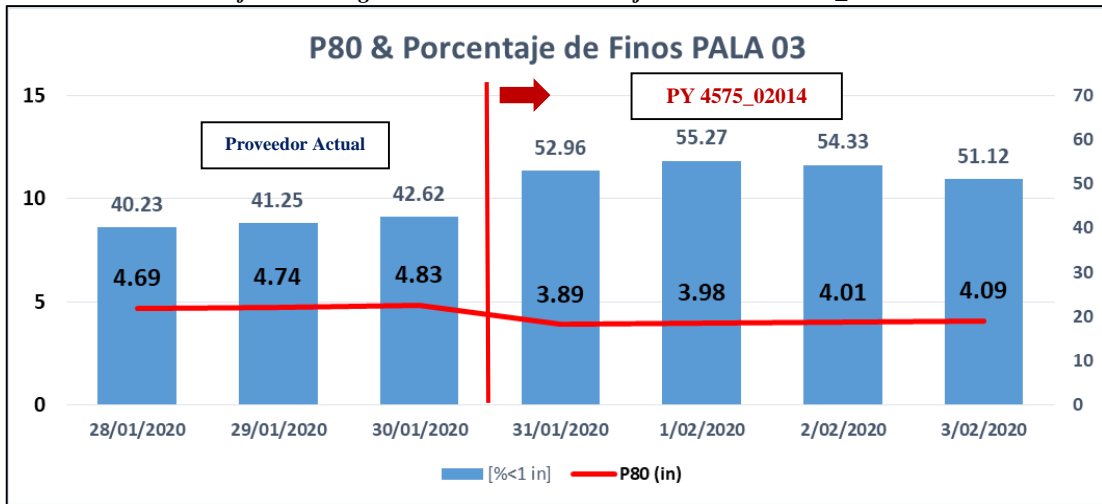
La Pala 03 Minó el PY 4575_02014 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 33: Valores P80 Y % de Finos PY 4575_02014.

FRAGMENTACIÓN PY 4575_02014		
FECHA	P80 (in)	[%<1 in]
31/01/2020	3.89	52.96
1/02/2020	3.98	55.27
2/02/2020	4.01	54.33
3/02/2020	4.09	51.12
PROMEDIO	3.99	53.42

Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 12: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4575_02014.



Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Dig Rate o Velocidad de Excavación PY 4575_02014

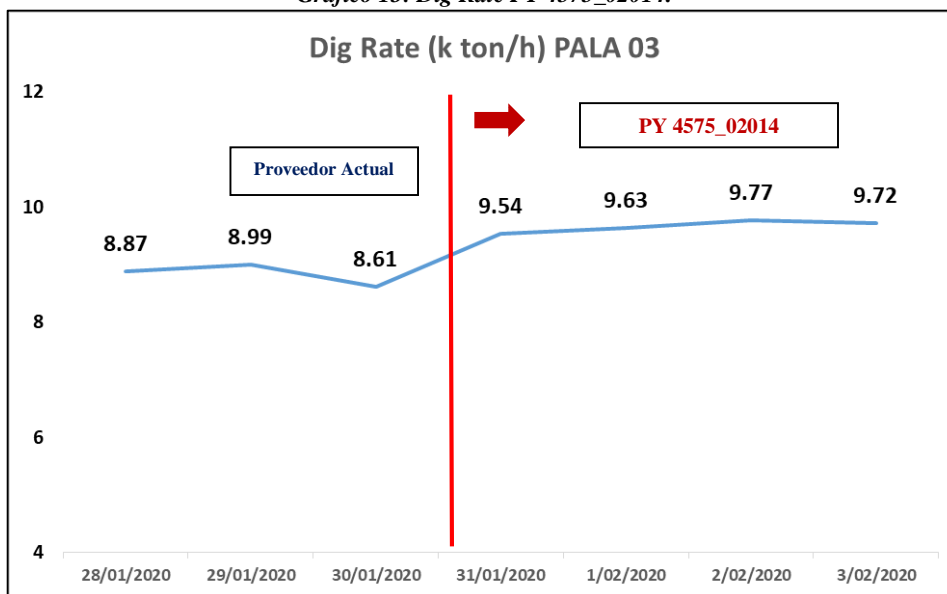
La Pala 03 Minó el PY 4575_02014 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores detallados en la Tabla 16:

Tabla 34: Dig Rate PY 4575_02014.

DIG RATE PY 4575_02014	
FECHA	(k ton/h)
31/01/2020	9.54
1/02/2020	9.63
2/02/2020	9.77
3/02/2020	9.72
PROMEDIO	9.67

Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 13: Dig Rate PY 4575_02014.



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Factor de Potencia PY 4575_02014

En el disparo del PY 4575_02014, se utilizó 247,277.00 kilogramos de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable; y se rompió 335,194.00 toneladas de mineral. Obteniendo un Factor de Potencia de 0.74 kg/ton.

Tabla 35: Factor de Potencia PY 4575_02014.

EXPLOSIVO USADO (ton)	MATERIAL ROTO (ton)	FACTOR DE POTENCIA (kg/ton)
247,277.00	335,194.00	0.74

Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Nivel de Humos PY 4575_02014

Figura 50: Nivel de Humos PY 4575_02014.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

Post Voladura PY 4575_02014

Figura 51: Post Voladura PY 4575_02014.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

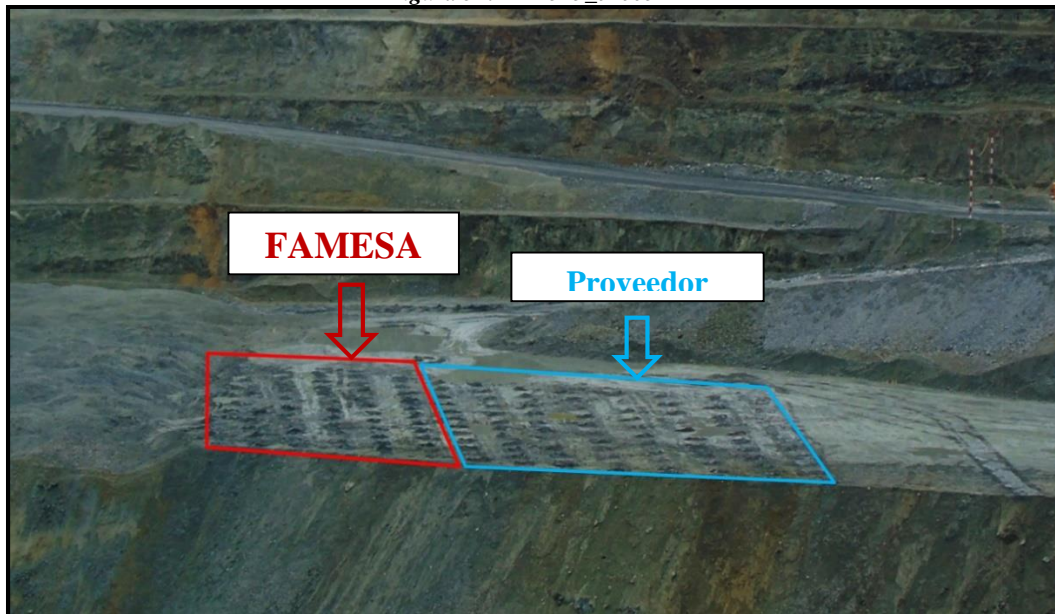
7mo Disparo PY 4545_02005

Tabla 36: Parámetros PY 4545_02004.

PROYECTO	4545_02005
FASE	2
MALLA (BxE)	6.90 m x 8.00 m
N° TALADROS	70
ALTURA DE BANCO (m)	15
SOBREPERFORACIÓN (m)	2.00
Ø PERFORACIÓN (pulg)	12 ¼

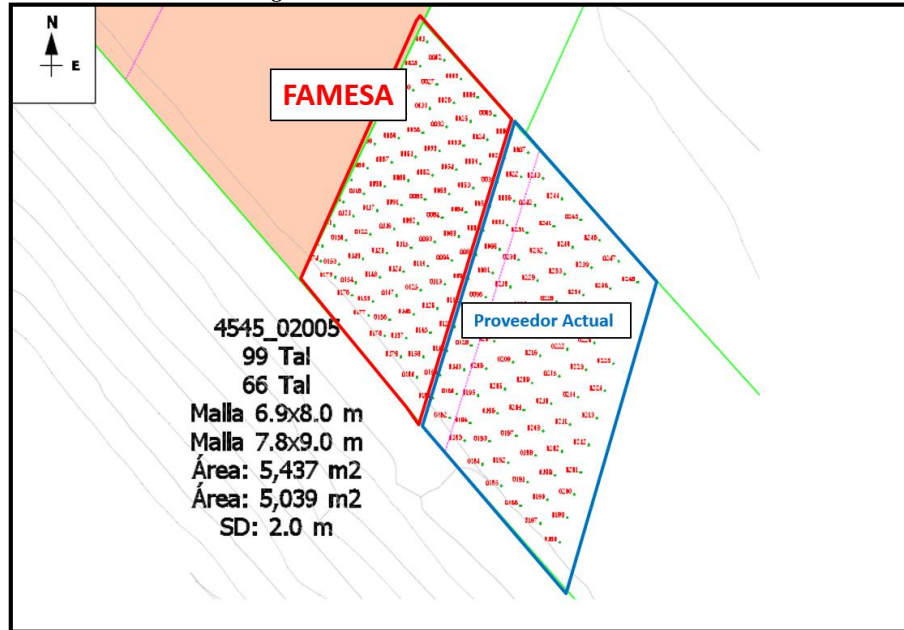
Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 52: PY 4545_02005



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Figura 53: Plano PY 4545_02005 FASE 2.

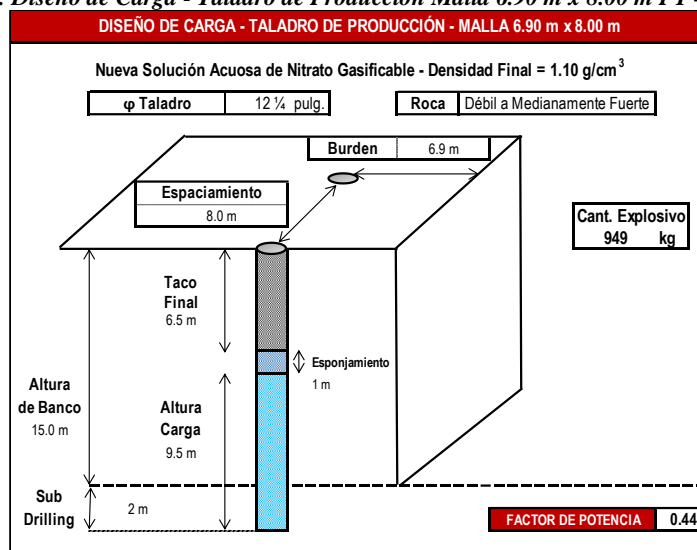


Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Diseños de Carga por Taladro PY 4545_02005

Taladro de Producción Malla 6.90 m x 8.00 m = 70 Taladros

Figura 54: Diseño de Carga - Taladro de Producción Malla 6.90 m x 8.00 m PY 4545_02005.



Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Fragmentación PY 4545_02005

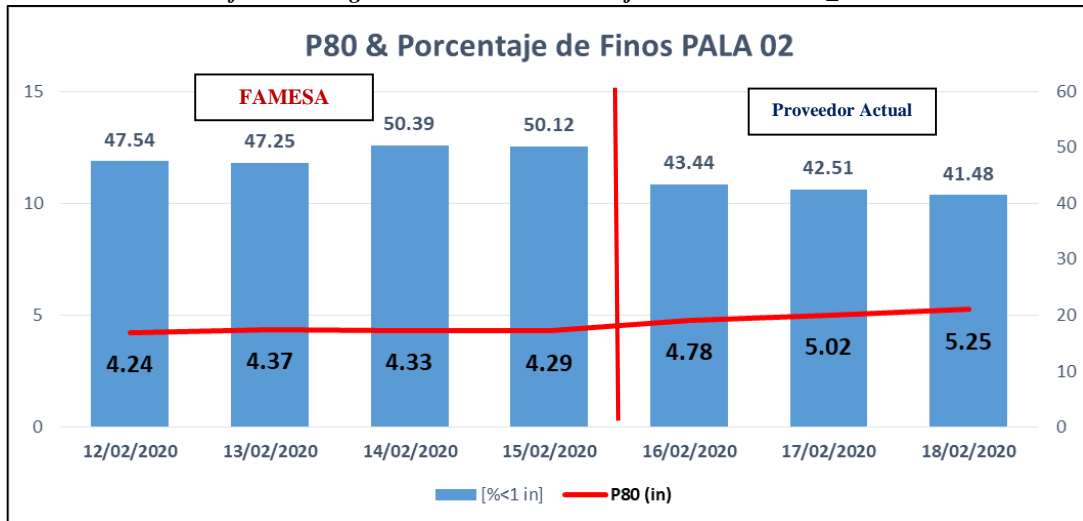
La Pala 02 Minó el PY 4545_02005 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 37: Valores P80 Y % de Finos PY 4545_02005.

FRAGMENTACIÓN PY 4545_02005		
FECHA	P80 (in)	[%<1 in]
12/02/2020	4.24	47.54
13/02/2020	4.37	47.25
14/02/2020	4.33	50.39
15/02/2020	4.29	50.12
PROMEDIO	4.31	48.83

Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 14: Fragmentación P80 Y Porcentaje de Finos PY 4545_02005.



Fuente: Split Online - Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Dig Rate o Velocidad de Excavación PY 4545_02005

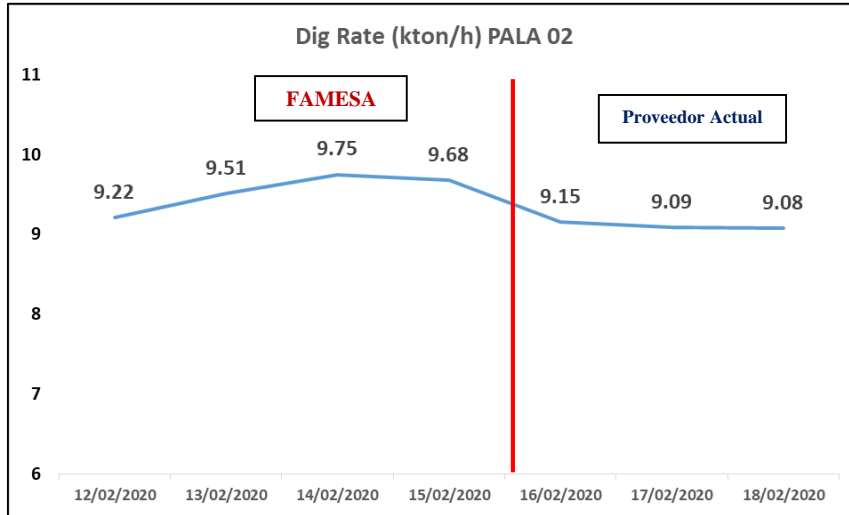
La Pala 02 Minó el PY 4545_02005 disparado por Famesa Explosivos, obteniendo los siguientes valores detallados en la Tabla 16:

Tabla 38: Dig Rate PY 4545_02005.

DIG RATE PY 4545_02005	
FECHA	(k ton/h)
12/02/2020	9.22
13/02/2020	9.51
14/02/2020	9.75
15/02/2020	9.68
PROMEDIO	9.54

Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 15: Dig Rate PY 4545_02005.



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Factor de Potencia PY 4545_02005

En el disparo del PY 4545_02005, se utilizó 66,431.00 kilogramos de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable; y se rompió 151,900.00 toneladas de mineral. Obteniendo un Factor de Potencia de 0.44 kg/ton.

Tabla 39: Factor de Potencia PY 4545_02005.

EXPLOSIVO USADO (ton)	MATERIAL ROTO (ton)	FACTOR DE POTENCIA (kg/ton)
66,431.00	151,900.00	0.44

Fuente: Área de Perforación y Voladura Minera Chinalco Perú.

Nivel de Humos PY 4545_02005

Figura 55: Nivel de Humos PY 4545_02005.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

Post Voladura PY 4545_02005

Figura 56: Post Voladura PY 4545_02005.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos Proyecto Toromocho.

4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1 Resultados en Fragmentación

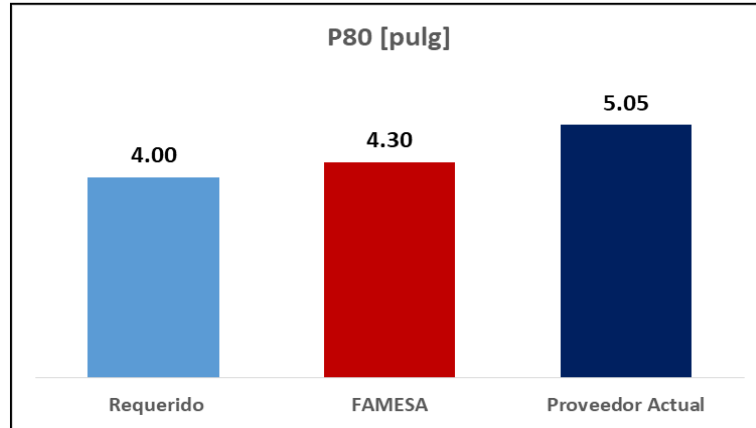
Tabla 40: Resultados P80 Y Porcentaje de Finos.

N° Disparo	FASE	PROYECTO	DIÁMETRO (pulg)	MALLA (BxE)	P80 (pulg)	% FINOS
1	1	4500_01001	12 ¼	8.7 m x 10.0 m	4.31	44.91
2	1	4575_02013	12 ¼	5.6 m x 6.5 m 6.9 m x 8.0 m	4.17	52.89
3	1	4500_01004	12 ¼	6.5 m x 7.5 m 8.7 m x 10.0 m	4.97	46.64
		4500_01005	12 ¼	6.9 m x 8.0 m 8.7 m x 10.0 m		
4	1	4470_01004	12 ¼	4.8 m x 5.5 m 5.2 m x 6.0 m	4.22	45.54
5	2	4560_02007	7 7/8 - 12 1/4	4.3 m x 5.0 m 4.8 m x 5.5 m	4.12	50.51
				6.9 m x 8.0 m		
6	2	4575_02014	7 7/8 - 12 1/4	3.5 m x 4.0 m 5.2 m x 6.0 m	3.99	53.42
7	2	4545_02005	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	4.31	48.83
PROMEDIO					4.30	48.96

Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

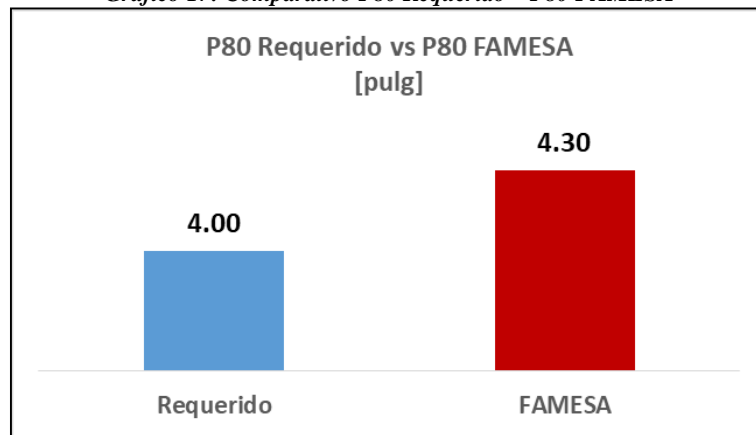
El promedio de P80 y Porcentaje de finos en las voladuras con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable fueron de 4.30 pulgadas y 48.96% respectivamente.

Gráfico 16: Comparativo P80 Requerido – P80 FAMESA – P80 Proveedor Actual.



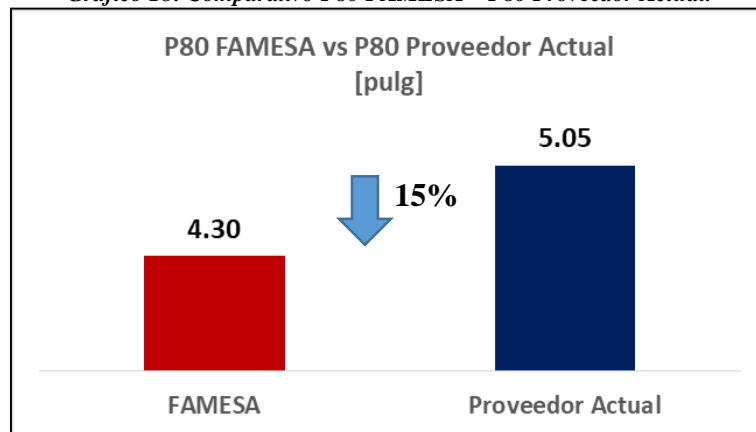
Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 17: Comparativo P80 Requerido – P80 FAMESA



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 18: Comparativo P80 FAMESA – P80 Proveedor Actual.



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Se logró reducir el P80 en 15% respecto al proveedor actual.

4.2.2 Resultados Velocidad de Excavación o Dig Rate

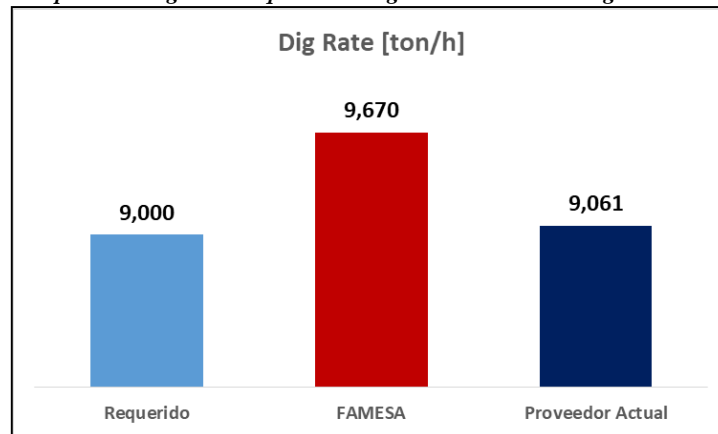
El promedio de Dig Rate o Velocidad de Excavación en las voladuras con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable fueron de 9,670.39 toneladas por hora.

Tabla 41: Resultados Dig Rate o Velocidad de Excavación.

N° Disparo	FASE	PROYECTO	DIÁMETRO (pulg)	MALLA (BxE)	Dig Rate (ton/h)
1	1	4500_01001	12 ¼	8.7 m x 10.0 m	8,987.30
2	1	4575_02013	12 ¼	5.6 m x 6.5 m 6.9 m x 8.0 m	9,967.50
3	1	4500_01004	12 ¼	6.5 m x 7.5 m 8.7 m x 10.0 m	9,934.20
		4500_01005	12 ¼	6.9 m x 8.0 m 8.7 m x 10.0 m	
4	1	4470_01004	12 ¼	4.8 m x 5.5 m 5.2 m x 6.0 m 4.3 m x 5.0 m	9,545.60
5	2	4560_02007	7 ½ - 12 ¼	4.8 m x 5.5 m 6.9 m x 8.0 m	10,052.30
6	2	4575_02014	7 ½ - 12 ¼	3.5 m x 4.0 m 5.2 m x 6.0 m	9,665.20
7	2	4545_02005	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	9,540.00
PROMEDIO					9,670.00

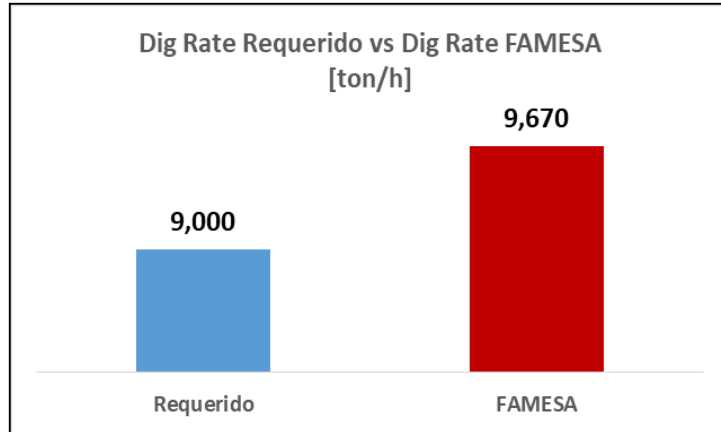
Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 19: Comparativo Dig Rate Requerido – Dig Rate FAMESA – Dig Rate Proveedor Actual.



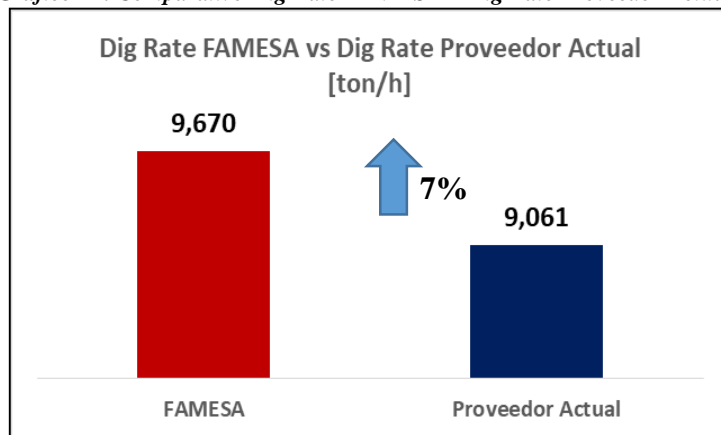
Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 20: Comparativo Dig Rate Requerido – Dig Rate FAMESA.



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Gráfico 21: Comparativo Dig Rate FAMESA – Dig Rate Proveedor Actual.



Fuente: Control de Producción Minera Chinalco Perú.

Se logró incrementar el Dig Rate o Velocidad de Excavación en 7% respecto al proveedor actual.

4.2.3 Resultados Factor de Potencia

Para analizar los resultados del Factor de Potencia realizamos un comparativo por mallas con la línea base, manteniendo los parámetros de perforación y voladura:

Tabla 42: Factor de Potencia - Voladuras con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.

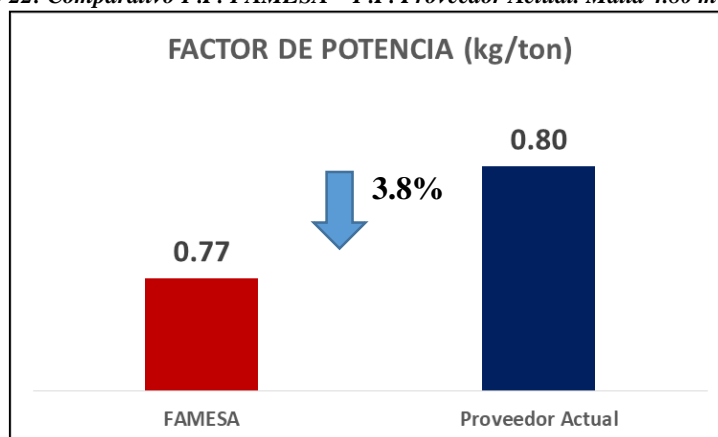
N° Disparo	FASE	PROYECTO	DUREZA	DIÁMETRO (pulg)	MALLA (BxE)	F.P (kg/ton)
1	1	4500_01001	Débil a Medianamente Fuerte	12 ¼	8.7 m x 10.0 m	0.27
2	1	4575_02013	Medianamente Fuerte	12 ¼	5.6 m x 6.5 m	0.61
			Débil a Medianamente Fuerte		6.9 m x 8.0 m	0.44
			Medianamente Fuerte		6.5 m x 7.5 m	0.47
3	1	4500_01004	Débil a Medianamente Fuerte	12 ¼	8.7 m x 10.0 m	0.27
			Débil a Medianamente Fuerte		6.9 m x 8.0 m	0.44
			Débil a Medianamente Fuerte		8.7 m x 10.0 m	0.27
4	1	4470_01004	Fuerte	12 ¼	4.8 m x 5.5 m	0.77
			Fuerte		5.2 m x 6.0 m	0.65
			Fuerte	7 ½	4.3 m x 5.0 m	0.47
5	2	4560_02007	Fuerte	12 ¼	4.8 m x 5.5 m	0.77
			Débil a Medianamente Fuerte	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	0.44
6	2	4575_02014	Fuerte	7 ½	3.5 m x 4.0 m	0.75
			Fuerte	12 ¼	5.2 m x 6.0 m	0.65
7	2	4545_02005	Débil a Medianamente Fuerte	12 ¼	6.9 m x 8.0 m	0.44

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromochó.

Factor de Potencia Malla 4.80 m x 5.50 m

Con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable se logró reducir en 4% el Factor de Potencia en Mallas de 4.80 m x 5.50 m.

Gráfico 22: Comparativo F.P. FAMESA – F.P. Proveedor Actual. Malla 4.80 m x 5.50 m.

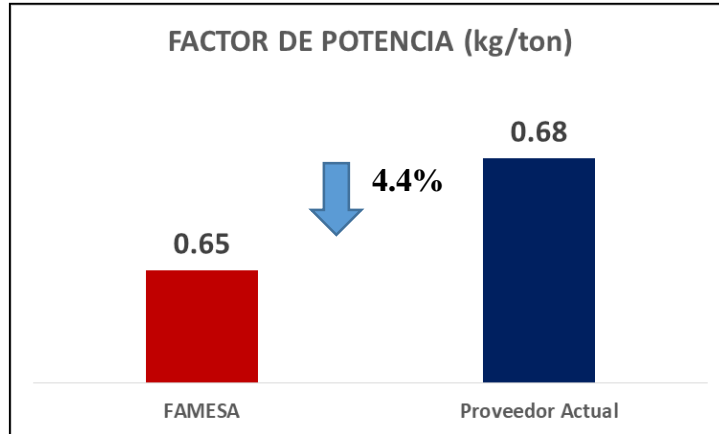


Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromochó.

Factor de Potencia Malla 5.20 m x 6.00 m

Con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable se logró reducir en 4% el Factor de Potencia en Mallas de 5.20 m x 6.00 m.

Gráfico 23: Comparativo F.P. FAMESA – F.P. Proveedor Actual. Malla 5.20 m x 6.00 m.

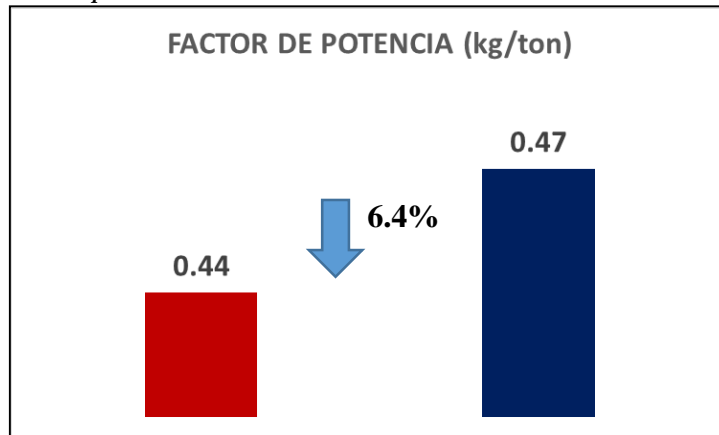


Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Factor de Potencia Malla 6.90 m x 8.00 m

Con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable se logró reducir en 6.4% el Factor de Potencia en Mallas de 6.90 m x 8.00 m.

Gráfico 24: Comparativo F.P. FAMESA – F.P. Proveedor Actual. Malla 6.90 m x 8.00 m.

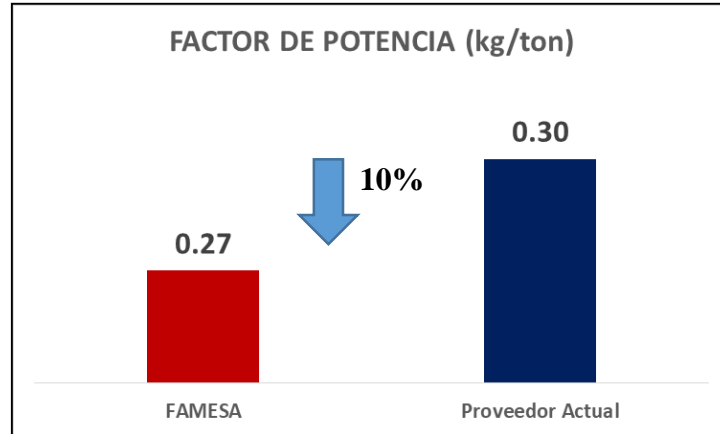


Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Factor de Potencia Malla 8.70 m x 10.00 m

Con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable se logró reducir en 10.0% el Factor de Potencia en Mallas de 8.70 m x 10.00 m.

Gráfico 25: Comparativo F.P. FAMESA – F.P. Proveedor Actual. Malla 8.70 m x 10.00 m.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

4.2.4 Resultados Nivel de Humos

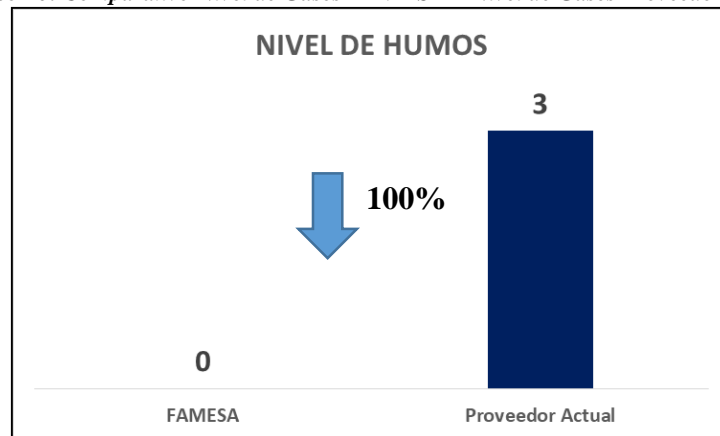
No se generó gases nitrosos en ninguna de las voladuras con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.

Tabla 43: Nivel de Gases - Voladuras con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.

N° Disparo	FASE	PROYECTO	NIVEL DE HUMOS
1	1	4500_01001	0
2	2	4575_02013	0
3	1	4500_01004_01005	0
4	1	4470_01004	0
5	2	4560_02007	0
6	2	4575_02014	0
7	2	4545_02005	0

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Gráfico 26: Comparativo Nivel de Gases FAMESA – Nivel de Gases Proveedor Actual.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Prueba de Hipótesis General

Teniendo en cuenta el planteamiento de la hipótesis general “La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable permite optimizar las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.”

A partir de los resultados obtenidos se determina una variación favorable en los parámetros: P80, velocidad de excavación, factor de potencia y nivel de humos, es decir, una optimización significativa en el proceso de voladuras.

Tabla 44: Prueba de hipótesis general, optimización de voladuras

Empresa	P80 (pulg)	Dig Rate (ton/h)	F.P. (kg/ton)	Nivel de Humos
Proveedor Actual	5.05	9061	0.54	3
FAMESA	4.30	9670	0.51	0

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

4.3.2. Prueba de Hipótesis Secundaria

Se emplea principios de la estadística inferencial para su determinación, y evaluar la probabilidad de éxito de la hipótesis planteada. Se evalúa la hipótesis secundaria “Considerando la tendencia de resultados cuantitativos de las voladuras ejecutadas con la mezcla explosiva del proveedor actual, en el tajo Toromocho, se aprecia la variación favorable de valores respecto al P80 (80 % pasante), a partir de la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.”, se demuestra esta hipótesis teniendo en cuenta la información recabada.

Se realiza el análisis de prueba de hipótesis para una media y este se evalúa teniendo en cuenta el promedio P80 obtenido en las Fases 1 - 2 del Tajo Toromocho empleando la mezcla explosiva del proveedor actual. De dónde se definen la hipótesis nula e hipótesis alterna.

Fragmentación P80

h_0 = La media P80 pasante es mayor o igual a 5.05 pulgadas.

$$h_0 \geq 5.05$$

h_1 = La media P80 pasante es menor a 5.05 pulgadas.

$$h_1 < 5.05$$

Tabla 45: Muestras P80

N° Muestra	Proyecto	P80 (pulg)
1	4500_01001	4.31
2	4575_02013	4.17
3	4500_01004_01005	4.97
4	4470_01004	4.22
5	4560_02013	4.12
6	4575_02014	3.99
7	4545_02005	4.31

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Media poblacional (μ) = 5.05

Nivel de significancia (α) = 5%

Grados de libertad (gl) = 6

Media (\bar{x}) = 4.30

Desviación Estándar (s) = 0.3165

Región Crítica (t) = 1.9432

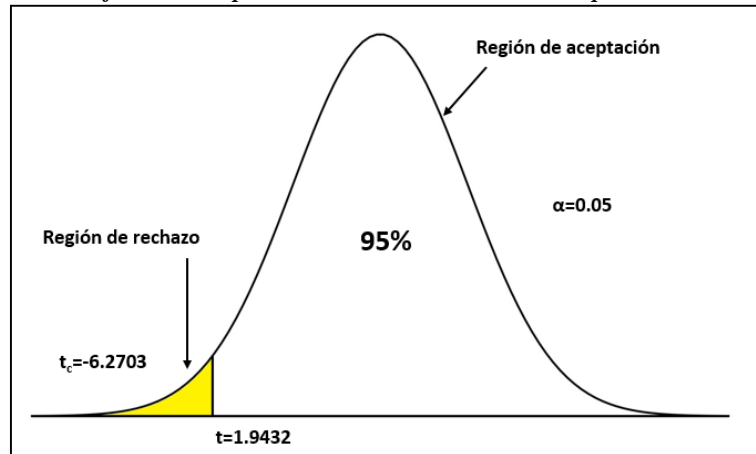
$$t_c = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

$$t_c = \frac{4.30 - 5.05}{0.3165/\sqrt{7}}$$

$$t_c = -6.2703$$

Considerando que es un estudio con un número de muestras menor a 30, emplearemos la T de student, como ecuación para determinar si la hipótesis se rechaza o no.

Gráfico 27: Campana de Gauss Determinación de Hipótesis P80.



Elaboración: Propia.

Al realizar el análisis correspondiente se determina que la hipótesis nula es rechazada, por lo tanto la hipótesis alterna es idónea en la variación de P80 en resultados de fragmentación.

Velocidad de Excavación o Dig Rate

h_0 = La media Dig Rate es menor o igual a 9,061 ton/h.

$$h_0 \leq 9,061$$

h_1 = La media Dig Rate es mayor a 9,061 ton/h.

$$h_1 > 9,061$$

Tabla 46: Muestras Dig Rate.

N° Muestra	Proyecto	Dig Rate (ton/h)
1	4500_01001	8,987
2	4575_02013	9,967
3	4500_01004_01005	9,934
4	4470_01004	9,545
5	4560_02013	10,052
6	4575_02014	9,665
7	4545_02005	9,539

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Media poblacional (μ) = 9,061

Nivel de significancia (α) = 5%

Grados de libertad (gl) = 6

Media (\bar{x}) = 9,670

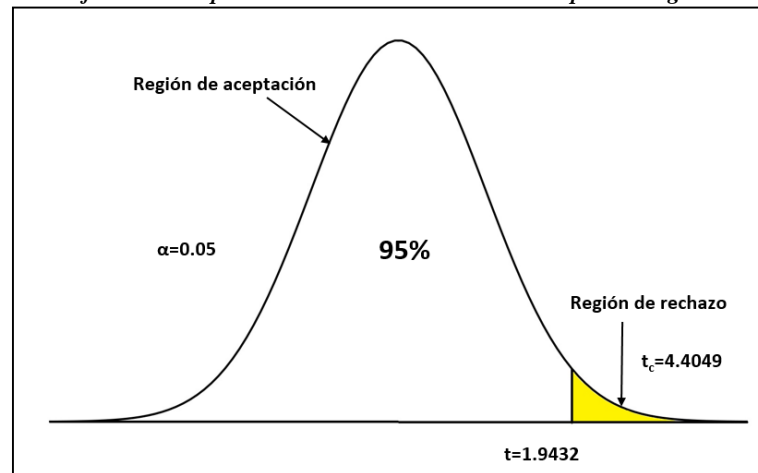
Desviación Estándar (s) = 366.0226

Región Crítica (t) = 1.9432

$$t_c = \frac{\bar{x} - u}{s/\sqrt{n}}$$
$$t_c = \frac{9,6770 - 9,061}{366.0226/\sqrt{7}}$$
$$t_c = 4.4049$$

Considerando que es un estudio con un número de muestras menor a 30, emplearemos la T de student, como ecuación para determinar si la hipótesis se rechaza o no.

Gráfico 28: Campana de Gauss Determinación de Hipótesis Dig Rate.



Elaboración: Propia.

Al realizar el análisis correspondiente se determina que la hipótesis nula es rechazada, por lo tanto la hipótesis alterna es idónea en la optimización de la velocidad de excavación.

Factor de Potencia

h_0 = La media del Factor de Potencia pasante es mayor o igual a 0.54 kg/ton.

$$h_0 \geq 0.54$$

h_1 = La media del Factor de Potencia es menor a 0.54 kg/ton.

$$h_1 < 0.54$$

Tabla 47: Muestras F.P.

Muestra	MALLA (BxE)	F.P. (kg/ton)
1	8.7 m x 10.0 m	0.27
2	5.6 m x 6.5 m	0.61
3	6.9 m x 8.0 m	0.44
4	6.5 m x 7.5 m	0.47
5	8.7 m x 10.0 m	0.27
6	6.9 m x 8.0 m	0.44
7	8.7 m x 10.0 m	0.27
8	4.8 m x 5.5 m	0.77
9	5.2 m x 6.0 m	0.65
10	4.3 m x 5.0 m	0.47
11	4.8 m x 5.5 m	0.77
12	6.9 m x 8.0 m	0.44
13	3.5 m x 4.0 m	0.75
14	5.2 m x 6.0 m	0.65
15	6.9 m x 8.0 m	0.44

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Media poblacional (u) = 0.54

Nivel de significancia (α) = 5%

Grados de libertad (gl) = 14

Media (x) = 0.51

Desviación Estándar (s) = 0.1762

Región Crítica (t) = 1.7613

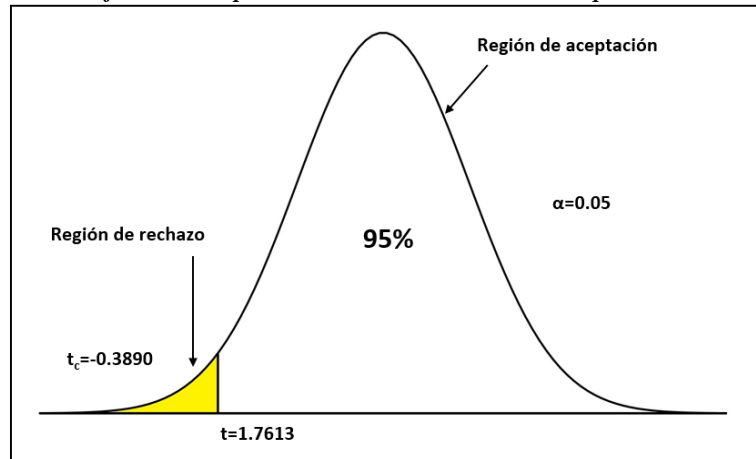
$$t_c = \frac{\bar{x} - u}{s/\sqrt{n}}$$

$$t_c = \frac{0.51 - 0.54}{0.1762/\sqrt{15}}$$

$$t_c = -0.3890$$

Considerando que es un estudio con un número de muestras menor a 30, emplearemos la T de student, como ecuación para determinar si la hipótesis se rechaza o no.

Gráfico 29: Campana de Gauss Determinación de Hipótesis F.P.



Elaboración: Propia.

Al realizar el análisis correspondiente se determina que la hipótesis nula es rechazada, por lo tanto la hipótesis alterna es idónea en la optimización del factor de potencia.

Nivel de Humos

h_0 = La media del nivel de humos es mayor o igual a 3.

$$h_0 \geq 3$$

h_1 = La media del nivel de humos es menor a 3.

$$h_1 < 3$$

Tabla 48: Muestras Nivel de Humos.

N° Muestra	PROYECTO	NIVEL DE HUMOS
1	4500_01001	0
2	4575_02013	0
3	4500_01004_01005	0
4	4470_01004	0
5	4560_02007	0
6	4575_02014	0
7	4545_02005	0

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Considerando que el nivel de humos es cero, se rechaza la hipótesis nula y se comprueba que la nueva solución acuosa de nitrato gasificable no genera gases nitrosos.

4.4. Discusión de resultados

Tabla 49: Comparación de Resultados Mezclas Explosivas.

PARÁMETRO	UND.	Actual Mezcla	Nueva Mezcla	VAR.
- Fragmentación	pulg	5.05	4.30	-15%
- Velocidad de Excavación	ton/h	9,061.86	9,670.00	7.0%
- Factor de Potencia:				
F.P Malla 4.80 m X 5.50 m	kg/ton	0.8	0.77	-3.8%
F.P Malla 5.20 m X 6.00 m	kg/ton	0.68	0.65	-4.4%
F.P Malla 6.90 m X 8.00 m	kg/ton	0.47	0.44	-6.4%
F.P Malla 8.70 m X 10.00 m	kg/ton	0.30	0.27	-10.0%
- Nivel de Humos	-	3	0	-100%

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación denominado: **“Aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable para optimizar las Voladuras Primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.”**, determinan ventajas técnicas respecto a la mezcla explosiva actual utilizada, esto debido a las características de la nueva mezcla explosiva capaz de optimizar los parámetros de voladura.

Considerando precedentes de proyectos de investigación similares, y relacionándolo a proyectos de investigación como el de Macedo, R. (2020). “Empleo de Emulsión Gasificada SAN-G APU Para Mejorar la Fragmentación En la Fase 8 de la Mina Antamina”, que tuvo como objetivo principal realizar voladuras de rocas con SAN-G APU y optimizar la fragmentación en la Fase 8 de Compañía Minera Antamina, se obtuvo una mejora de la fragmentación post voladura en zonas de desmonte y mineral pasando de un $P80 = 21.34$ cm con el heavy Anfo 73 gasificado a un $P80 = 11.60$ cm con el explosivo emulsión gasificada SAN-G APU, logrando una reducción del 45% en el porcentaje de pasantes. Así mismo se demuestra que el explosivo es eco-amigable, eliminando la presencia de gases nitrosos.

Escriba, E. (2018), en su tesis: “Utilización de emulsión gasificable en voladura para optimizar factores ambientales, técnicos y económicos en minería a tajo abierto”,

describe como el proceso de pruebas en voladura de rocas (05 disparos), utilizando emulsión gasificable en zona estéril de la Fase 9 de minado de Antamina, mejoró los resultados en fragmentación, obteniendo una disminución del P80 de 29.1 cm a 16.6 cm, logrando así una reducción del 43% en el porcentaje de pasantes, 2.3% en el factor de potencia y elimina también la presencia de gases nitrosos post voladura.

Así mismo Berto, Alex. (2019). En el proyecto de investigación titulado: “Análisis del Uso de la Emulsión Gasificable SAN-G APU para Optimizar la Fragmentación de Voladuras Primarias – Compañía Minera Antamina”; describe un proceso de pruebas en voladura de rocas (03 disparos) en la Fase 9 de minado de Antamina, sin alterar los parámetros de perforación y voladura, en material estéril, donde logra reducir el P80 de 27.4 cm a 18.91 cm (reducción del 31% en el tamaño de los pasantes), el factor de potencia en 3.5% y elimina la presencia de gases nitrosos post voladura.

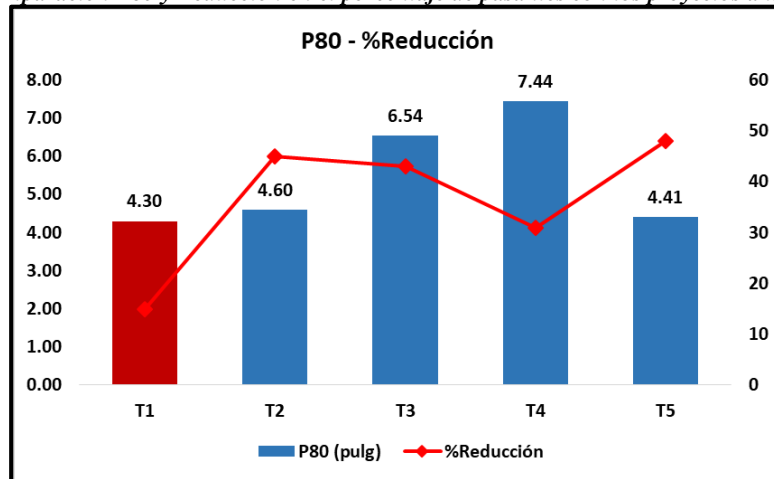
“La Aplicación de la Solución Acuosa de Nitrato Gasificable SAN G en el proyecto de oro a cielo abierto Merian de Newmont Gold. Suriname”, obtuvo una fragmentación de 4.41 pulgadas, reduciendo en 48% el porcentaje de pasantes, respecto a la anterior mezcla explosiva utilizada, razón por la cual la SAN G es la mezcla explosiva estándar de la unidad minera.

En nuestro proyecto se obtuvo una mejora en la fragmentación de las voladuras primarias, pasando de un P80 = 5.05 pulgadas con la mezcla explosiva actual a un P80 = 4.30 pulgadas con la nueva solución acuosa de nitrato gasificable, reduciendo en 15% el tamaño de pasantes. Además al igual que en las trabajos citados, no se generó gases nitrosos, por lo tanto el nivel de humos fue de cero.

Cabe resaltar, que si los trabajos anteriores han obtenido una mayor reducción en el tamaño de los pasantes, ha sido porque las empresas especializadas, aún no ponían

el suficiente énfasis en la fragmentación. Al momento de realizar este trabajo de investigación, ya existía un plan de mejora continua del Área de Perforación y Voladura de Minera Chinalco Perú, que incluía la reducción de mallas de perforación y longitud de taco. De este plan fue parte la Aplicación de la nueva solución acuosa de nitrato gasificable, demostrando un excelente performance.

Gráfico 30: Comparación P80 y Reducción en el porcentaje de pasantes con los proyectos antecedentes.



Elaboración: Propia

CONCLUSIONES

1. La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho optimizó la fragmentación, pasando de un P80 = 5.05 pulgadas con la mezcla explosiva actual a un P80 = 4.30 pulgadas con la nueva solución acuosa de nitrato gasificable, reduciendo en 15% el tamaño de los pasantes.
2. La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho optimizó la velocidad de excavación o dig rate, pasando de una tasa = 9,061 ton/h con la mezcla explosiva actual a una tasa de = 9,670 ton/h con la nueva solución acuosa de nitrato gasificable.
2. Debido a la baja densidad inicial de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable se disminuyó el consumo de mezcla explosiva, y así se pudo reducir el Factor de Potencia en Malla 4.80 m x 5.50 m (reducción del 3.8%), Malla 5.20 m x 6.00 m (reducción del 4.4%), Malla 6.90 m x 8.00 m (reducción del 6.4%) y Malla 8.70 m x 10.00 m (reducción del 10.0%).
3. Al no contener ANFO dentro de su composición, la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable no generó gases nitrosos post voladura, obteniendo un nivel de humos = 0, mientras que las voladuras con la mezcla explosiva actual generan humos con niveles superiores a 2.
4. Se realizaron 7 disparos con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable, en los cuales se cargaron 1,555 taladros de 12 ¼ pulgadas y 90 taladros de 7 7/8 pulgadas.
5. Se utilizaron 1'424,546.00 kilogramos de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable y se rompieron 3'117,724.00 toneladas de material mineral.

RECOMENDACIONES

Se recomienda lo siguiente:

1. Continuar con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable, a fin de consolidar el performance de esta nueva mezcla explosiva.
2. Aplicar la Nueva Solución de Nitrato Gasificable en material desmonte a fin de mejorar los rendimientos específicos en este tipo de voladuras.
3. Considerar reducir la longitud de taco final en el diseño de voladuras, con el objetivo de obtener las 4 pulgadas como P80.
4. Considerar el reemplazo de la mezcla explosiva actual por la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en las voladuras primarias del Tajo Toromocho, a fin de cumplir con los estándares de la compañía minera.
5. Realizar cálculos de beneficios y costos al reemplazar la mezcla explosiva actual por la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, Andrés. (2016). Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el Abra. Santiago – Chile.
- Berto, Alex. (2019). Análisis del Uso de la Emulsión Gasificable SAN-G APU para Optimizar la Fragmentación de Voladuras Primarias – Compañía Minera Antamina S.A. - Huaraz. Cuzco – Perú.
- Enaex, (2014). Manual de Tronadura. Chile.
- Escriba, E. (2018). Utilización de emulsión gasificable en voladura para optimizar factores ambientales, técnicos y económicos en minería a tajo abierto. Arequipa - Perú.
- Exsa, (2012). Manual Práctico de Voladura. 4ta edición. Lima – Perú
- Famesa Explosivos, (2018). Aplicación de la Solución Acuosa de Nitrato Gasificable SAN G en el proyecto de oro a cielo abierto Merian de Newmont Gold. Suriname.
- Famesa, (2018). Catálogo de Explosivos y Sistemas de Iniciación. Lima – Perú.
- López Jimeno, (2003). Manual de Perforación y Voladura. España.
- Macedo, R. (2020). Empleo de Emulsión Gasificada SAN-G APU Para Mejorar la Fragmentación En la Fase 8 de la Mina Antamina Año 2018. Huaraz - Perú.
- Minera Chinalco Perú S.A. (2020). Área de Geología. Junín – Perú.
- Minera Chinalco Perú S.A. (2020). Área de Perforación y Voladura. Junín – Perú.
- Minera Chinalco Perú S.A. (2020). Control de Producción. Junín – Perú.
- Zavala, K. (2017). Empleo de Agente de Voladura Gasificado para Minimizar Costos de Voladura en la Compañía Minera Antamina. Huaraz - Perú.

ANEXOS

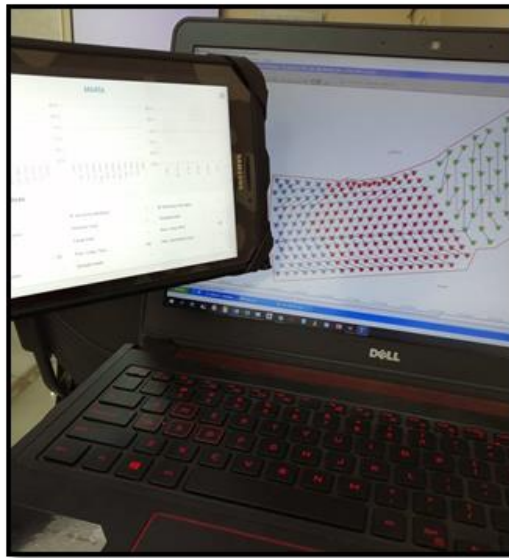
Instrumentos de Recolección de datos

Figura 57: Wincha métrica para medir taco inicial y taco final en el carguío de taladros.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Figura 58: Laptop y tablet para registrar y procesar datos.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Figura 59: Kit de Control de densidades.



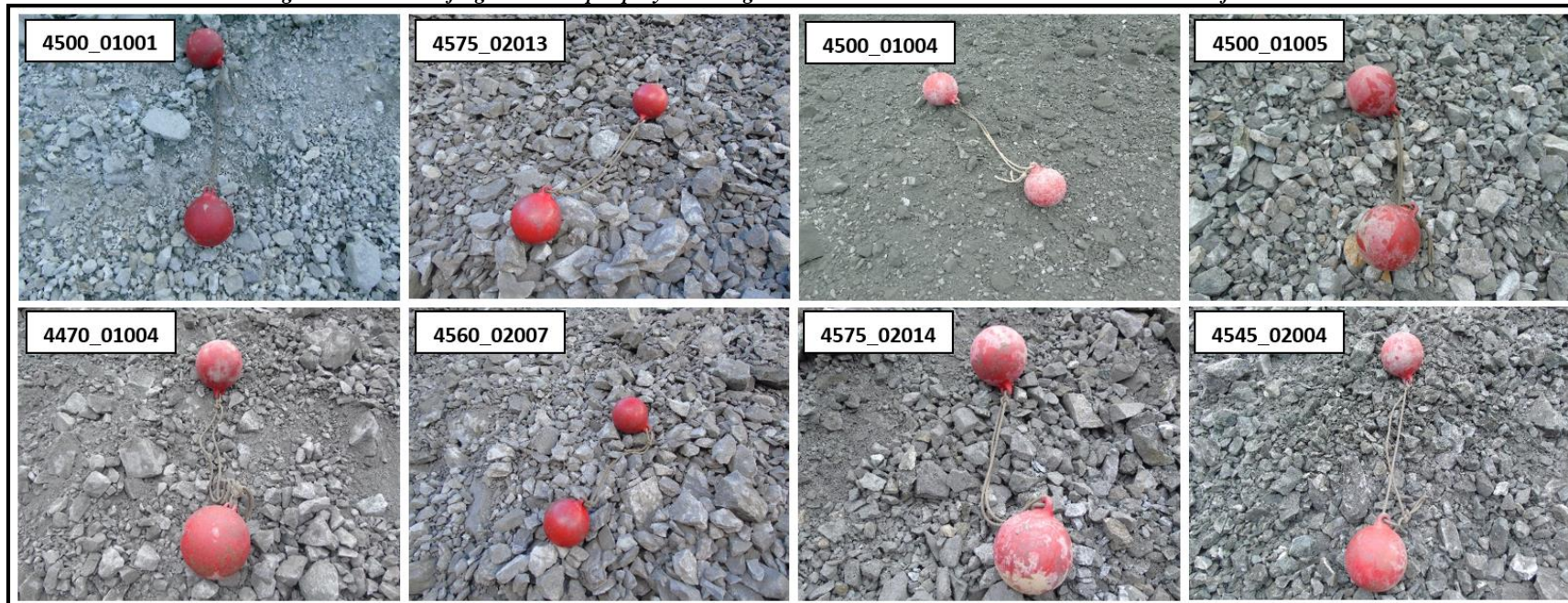
Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Tabla 50: Recolección de datos control de densidad.

Camion: AER-876		N° de Muestras	
Responsable: Kevin Huamán		1	2
Temperatura (C°)		36.2	36.0
% Solución N-30		1.15%	1.10%
TIEMPO DE GASIFICACION (min)	0	1.310	1.300
	5	1.150	1.160
	10	1.120	1.130
	20	1.100	1.090
Densidad promedio		1.095	

Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Figura 60: Fotos de fragmentación por proyectos cargados con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Figura 61: Tesista presente en la filmación del disparo.



Fuente: Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Tabla 51: Resumen Proyectos disparados con la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.

N° DISPARO	PROYECTO	FASE	TIPO	MALLA	MATERIAL	DIAM (pulg)	N° Tal	kg Explosivo	TONELAJE	F.P (kg/ton)	VOD (m/s)	P80 (in)	D.R. (ton/h)
1	4500_01001	1	Producción	8.7 m x 10.0 m	Mineral	12 1/4	152	144,248	612,562	0.27	5,834.4	4.31	8,987.3
	4500_01001	1	Buffer	6.0 m x 8.7 m	Mineral	12 1/4	29	20,851					
2	4575_02013	2	Producción	5.6 m x 6.5 m	Mineral	12 1/4	127	114,952	188,075	0.61	5,826.9	3.71	10,276.6
	4575_02013	2	Producción	6.9 m x 8.0 m	Mineral	12 1/4	81	78,651	177,413	0.44			
3	4500_01004	1	Producción	8.7 m x 10.0 m	Mineral	12 1/4	96	90,760	335,157	0.27	5,932.4	4.54	9,934.5
	4500_01004	1	Producción	6.5 m x 7.5 m	Mineral	12 1/4	105	96,280	205,326	0.47			
	4500_01005	1	Producción	6.9 m x 8.0 m	Mineral	12 1/4	68	60,108	135,959	0.44			
	4500_01005	1	Producción	8.7 m x 10.0 m	Mineral	12 1/4	104	98,696	362,450	0.27			
4	4470_01004	1	Producción	5.2 m x 6.0 m	Mineral	12 1/4	76	64,524	99,388	0.65	5,866.4	4.58	9,145.6
	4470_01004	1	Producción	4.8 m x 5.5 m	Mineral	12 1/4	108	91,692	118,725	0.77			
5	4560_02007	2	Producción	6.9 m x 8.0 m	Mineral	12 1/4	21	19,929	45,073	0.44	5,826.9	3.71	10,276.6
	4560_02007	2	Producción	4.8 m x 5.5 m	Mineral	12 1/4	256	217,344	281,149	0.77			
	4560_02007	2	Producción	4.3 m x 5.0 m	Mineral	7 7/8	31	12,803	27,052	0.47			
6	4575_02014	2	Producción	5.2 m x 6.0 m	Mineral	12 1/4	262	222,438	344,545	0.65	5,845.3	4.46	9,240.0
	4575_02014	2	Producción	3.5 m x 4.0 m	Mineral	7 7/8	59	24,839	32,950	0.75			
7	4545_02005	2	Producción	6.9 m x 8.0 m	Mineral	12 1/4	70	66,431	151,900	0.44	5,845.3	4.46	9,240.0
TOTAL								1,424,546	3,117,724				

Fuente:

Asistencia Técnica Famesa Explosivos - Proyecto Toromocho.

Tabla 52: Matriz de Consistencia “Aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable para Optimizar las Voladuras primarias de la Fase 1 – 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Método	Población y muestra
<p>Principal</p> <p>¿Es posible optimizar los parámetros de voladura primaria en la fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>a) ¿La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable permite optimizar la fragmentación en las voladuras primarias de la fase 1-2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.?</p> <p>b) ¿La aplicación de la Solución Acuosa de Nitrato Gasificable permite optimizar la velocidad de excavación de las voladuras primarias de la fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.?</p> <p>c) ¿La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable permite reducir el factor de potencia de las voladuras primarias de la fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.?</p> <p>d) ¿La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable permite minimizar los gases nitrosos de las voladuras primarias de la fase 1-2 del Tajo</p>	<p>General</p> <p>Optimizar los parámetros de las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>a) Optimizar la fragmentación de las voladuras primarias de la Fase 1 – 2 con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en el Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú.</p> <p>b) Optimizar la velocidad de excavación o dig rate de las voladuras primarias de la Fase 1 – 2 con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en el Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.</p> <p>c) Minimizar el factor de potencia de las voladuras primarias de la Fase 1 – 2 con la aplicación de la solución acuosa de nitrato gasificable en el Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.</p> <p>d) Minimizar los gases nitrosos de las voladuras primarias de la fase 1 – 2 con la aplicación de la Nueva</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable permite optimizar las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>a) La fragmentación se reduce con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.</p> <p>b) La velocidad de excavación se optimiza con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.</p> <p>c) El factor de potencia se optimiza con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.</p> <p>d) Los gases nitrosos se reducen con la aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable en las voladuras primarias de la Fase</p>	<p>Variable independiente</p> <p>X: Aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable.</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>Y: Optimización de las voladuras primarias de las Fases 1 - 2 del Tajo Toromocho.</p>	<p>Tipo de Investigación</p> <p>La evaluación presentada en este proyecto de tesis, parte de una caracterización científica de tipo explicativo - experimental con enfoque cuantitativo, ya que se determinan las causas y efectos del objeto de estudio, a través de la caracterización y explicación de una modificación o variabilidad de mejora (Aplicación de una nueva solución acuosa de nitrato gasificable) con respecto al proceso inicial y estos se contrastan a partir de resultados cuantitativos numéricos (P80, velocidad de excavación, factor de potencia, nivel de humos) obtenidos a partir de la población y muestra.</p>	<p>Población</p> <p>Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú.</p> <p>Muestra</p> <p>Zona Mineral de alta ley de las Fases 1 - 2 del Tajo Toromocho.</p>

	Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A.			<p>Método de Investigación</p> <p>La metodología seleccionada para el presente proyecto de tesis es del tipo analítico - inductivo, ya que reúne las condiciones metodológicas de carácter empírico, es decir se analizan casos específicos reales (7 disparos con la nueva solución acuosa de nitrato gasificable), cuyos resultados son recabados para extraer conclusiones.</p>	
--	--	--	--	---	--

Elaboración: Propia.