

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ingeniería**

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**IMPLEMENTACIÓN DE EMULSIONES  
ENERGÉTICAS FORTIS EXTRA  
EN ROCA TRAQUITA**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. Carlos Héctor Sueros Lezama

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO DE MINAS**

TACNA – PERÚ

2021

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ingeniería**

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**IMPLEMENTACIÓN DE EMULSIONES  
ENERGÉTICAS FORTIS EXTRA  
EN ROCA TRAQUITA**

Tesis sustentada y aprobada el martes 10 de diciembre de 2020; estando integrado el jurado calificador por:

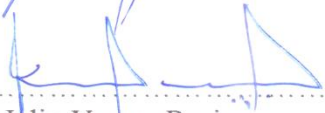
PRESIDENTE

  
.....  
Dr. Julio Fernández Prado

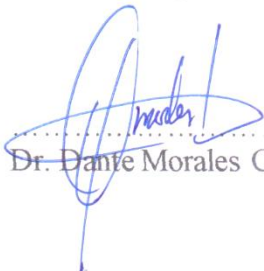
1er. MIEMBRO  
(SECRETARIO)

  
.....  
Dr. Carlos Huisa Ccori

2do. MIEMBRO  
(VOCAL)

  
.....  
Dr. Julio Vargas Paniagua

ASESOR

  
.....  
Dr. Dante Morales Cabrera

## **DEDICATORIA**

Con todo cariño y dedicación a mis padres Irma y Héctor que con su esfuerzo y apoyo fueron partícipes muy importantes en la formación de valores sólidos en mi persona y a mi novia Giannina por apoyarme y alentarme a siempre mostrar la mejor versión de mí.

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero a través de estas líneas hacer llegar mi más profundo agradecimiento y reconocimiento al Gerente del Área Técnica de Orica Mining Services Peru S.A Ing. Pablo Rivera Alvarez, así como al Consultor Técnico de Orica Mining Services Peru S.A., Ing. Wenceslao Valenzuela Serreno, por compartir sus experiencias profesionales y calidad humana, las cuales fueron relevantes para la formulación de esta tesis, lo cual contribuyó de gran manera a obtener logros importantes en esta etapa laboral en la cual vengo desempeñándome, las cuales formarán los cimientos de todo profesional comprometido con su profesión.

# CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xx
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
INTRODUCCION	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1 Descripción del problema.	3
1.1.1 Antecedentes del problema.	3
1.1.2 Problemática de la investigación.	3

1.2	Formulación del problema.	4
1.3	Justificación e importancia de la investigación.	4
1.4	Alcances y limitaciones.	5
1.5	Objetivos de la investigación.	5
1.5.1	Objetivo general.	5
1.5.2	Objetivos específicos.	5
1.6	Hipótesis.	6
1.6.1	Hipótesis general.	6
1.6.2	Hipótesis específicos.	6

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO.**

2.1	Antecedentes de la investigación .	7
2.2	Bases de la investigación.	8
2.2.1	Propiedades de los explosivos.	8
2.2.2	Tipos de explosivos.	11
2.2.3	Emulsión Fortis Extra.	15
2.2.4	Energía del explosivo	17
2.2.5	Mecanismo de fragmentación de la roca	18
2.2.6	Factores que afectan al desempeño de la voladura	23
2.2.7	Parámetros de voladura	25

2.2.8	Accesorios de voladura.	30
2.2.9	Roca traquita.	34

### **CAPITULO III**

#### **MARCO METODOLOGICO**

3.1	Tipo y Diseño de la investigación.	40
3.1.1	Análisis de fragmentación.	40
3.1.2	Procedimiento y rendimiento y velocidad de carguío.	41
3.1.3	Velocidad de detonación.	42
3.1.4	Control de calidad.	43
3.2	Población y muestra.	44
3.3	Operacionalización de variables.	44
3.3.1	Variables independiente.	45
3.3.2	Variables dependientes.	45
3.4	Instrumentación y recolección de datos.	45
3.5	Procesamiento y análisis de datos.	46
3.5.1	Validación y edición.	46
3.5.2	Codificación.	46
3.5.3	Introducción de datos.	47
3.6	Presentación de resultados.	47

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

4.1	Parámetros de Diseño.	49
4.1.1	Evaluación del taco.	52
4.1.2	Factor de rigidez.	53
4.1.3	Modelamiento de halos de energía.	54
4.1.4	Factor de potencia.	57
4.1.5	Secuencia de detonación.	58
4.2	Control de calidad emulsión Fortis Extra y explosivo.	64
4.2.1	Densidad emulsión Fortis Extra.	64
4.2.2	Densidad, gasificación y temperatura Fortis Extra.	65
4.2.3	Velocidad de detonación.	68
4.3	Análisis de fragmentación.	72
4.3.1	Análisis de fragmentación Nv.3460 618-disparo 01.	73
4.3.2	Análisis de fragmentación Nv.3425 606-disparo 02.	74
4.3.3	Análisis de fragmentación Nv.3425 617-disparo 03.	76
4.3.4	Análisis de fragmentación Nv.3425 618-disparo 04.	78
4.3.5	Análisis de fragmentación Nv.3425 632-disparo 05.	80
4.3.6	Análisis de fragmentación Nv.3425 635-disparo 06.	82
4.3.7	Línea Base de fragmentación.	84
4.4	Producción, rendimiento y velocidad de excavación.	86

4.4.1	Nv.3460 618-disparo 01.	86
4.4.2	Nv.3425 606-disparo 02.	87
4.4.3	Nv.3425 617-disparo 03.	91
4.4.4	Nv.3425 618-disparo 04.	94
4.4.5	Nv.3425 632-disparo 05.	97
4.4.6	Nv.3425 635-disparo 06.	103
4.5	Estudio Económico.	106
4.5.1	Precio de accesorios y materias primas.	107
4.5.2	Estudio económico disparo 01.	108
4.5.3	Estudio económico disparo 02.	117
4.5.4	Estudio económico disparo 03.	120
4.5.5	Estudio económico disparo 04.	123
4.5.6	Estudio económico disparo 05.	126
4.5.7	Estudio económico disparo 06.	129
4.6	Monitoreo de vibraciones.	132

## **CAPITULO V**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

5.1	Parámetros de diseño.	137
5.2	Controles de calidad.	140
5.3	Análisis de fragmentación	142

5.3	Producción, productividad y velocidad de excavación.	143
5.4	Evaluación económica.	146
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>148</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>149</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>150</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>151</b>

## INDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 01 Composición típica de una emulsión explosiva.	14
Tabla 02 Especificaciones Técnicas Fortis Extra vs Emulsión Estándar.	16
Tabla 03 Especificaciones Técnicas Fortis Extra 50 vs HA 45/55.	16
Tabla 04 Relación Resistencia la compresión y Factor de Carga.	30
Tabla 05 Propiedades Técnicas del Booster.	31
Tabla 06 Modelos de Iniciadores no electrónicos.	32
Tabla 07 Parámetros de diseño de Perforación y Voladura.	51
Tabla 08 Cálculo del Factor de SD.	52
Tabla 09 Cálculo del Factor de Rigidez.	53
Tabla 10 Resumen de Factor de Potencia.	58
Tabla 11 Densidad del Fortis Extra.	65
Tabla 12 Control de Gasificación.	66
Tabla 13 Datos de VOD - Monitoreo 01.	67
Tabla 14 Datos de VOD - Monitoreo 02.	68
Tabla 15 Datos de VOD - Monitoreo 03.	68
Tabla 16 Datos de VOD - Monitoreo 04.	70

Tabla 17	Datos de VOD - Monitoreo 05.	71
Tabla 18	Resumen de Fragmentación - Disparo 01.	74
Tabla 19	Resumen de Fragmentación - Disparo 02.	76
Tabla 20	Resumen de Fragmentación - Disparo 03.	78
Tabla 21	Resumen de Fragmentación - Disparo 04.	80
Tabla 22	Resumen de Fragmentación - Disparo 05.	82
Tabla 23	Resumen de Fragmentación - Disparo 06.	83
Tabla 24	Resumen de Fragmentación - Línea Base.	85
Tabla 25	Precios de Materias Primas y Accesorios de Voladura.	107
Tabla 26	Precios de Explosivos.	108
Tabla 27	Parámetros de Voladura - Disparo 01.	108
Tabla 28	Costos de Explosivos - Disparo 01.	111
Tabla 29	Costos de Accesorios - Disparo 01.	113
Tabla 30	Costos de Perforación - Disparo 01.	114
Tabla 31	Costos de Perforación y Voladura - Disparo 01.	115
Tabla 32	Parámetros de Voladura - Disparo 02.	117
Tabla 33	Costos de Explosivos - Disparo 02.	117
Tabla 34	Costos de Accesorios - Disparo 02.	118
Tabla 35	Costos de Perforación - Disparo 02.	118
Tabla 36	Costos de Perforación y Voladura - Disparo 02.	119

Tabla 37	Parámetros de Voladura - Disparo 03.	120
Tabla 38	Costos de Explosivos - Disparo 03.	120
Tabla 39	Costos de Accesorios - Disparo 03.	121
Tabla 40	Costos de Perforación - Disparo 03.	121
Tabla 41	Costos de Perforación y Voladura- Disparo 03.	122
Tabla 42	Parámetros de Voladura - Disparo 04.	123
Tabla 43	Costos de Explosivos - Disparo 04.	123
Tabla 44	Costos de Accesorios - Disparo 04.	124
Tabla 45	Costos de Perforación - Disparo 04.	124
Tabla 46	Costos de Perforación y Voladura- Disparo 04.	125
Tabla 47	Parámetros de Voladura - Disparo 05.	126
Tabla 48	Costos de Explosivos - Disparo 05.	126
Tabla 49	Costos de Accesorios - Disparo 05.	127
Tabla 50	Costos de Perforación - Disparo 05.	127
Tabla 51	Costos de Perforación y Voladura- Disparo 05.	128
Tabla 52	Parámetros de Voladura - Disparo 06.	129
Tabla 53	Costos de Explosivos - Disparo 06.	129
Tabla 54	Costos de Accesorios - Disparo 06.	130
Tabla 55	Costos de Perforación - Disparo 06.	130
Tabla 56	Costos de Perforación y Voladura - Disparo 06.	131
Tabla 57	Resumen Monitoreo de Vibraciones.	132

Tabla 58	Resumen de Evaluación de Parámetros de Diseño.	137
Tabla 59	Resumen de Análisis de Fragmentación.	142
Tabla 60	Beneficio Económico.	146

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 01 Composición del ANFO.	12
Figura 02 Composición del Heavy ANFO.	13
Figura 03 Fases de una Emulsión.	14
Figura 04 Muestra fabricación de una emulsión.	15
Figura 05 Tipos de fisuras en el taladro	22
Figura 06 Diagrama de Factor SD	27
Figura 07 Escenarios de cálculo de factor SD.	28
Figura 08 Booster – Pentex Orica.	31
Figura 09 Iniciador no Eléctrico – Exel.	33
Figura 10 Iniciador Electrónico – I-Kon II.	34
Figura 11 Sección Esquemática - Flujo de la Lava Traquitica.	38
Figura 12 Testigos Roca Traquita.	39
Figura 13 Diseño de Carga Estándar.	50
Figura 14 Diseño de Carga de las Voladuras 01, 02 y 03.	50
Figura 15 Diseño de Carga de las Voladuras 04, 05 y 06.	51
Figura 16 Halos de Energía Planta y Lateral Línea Base.	54
Figura 17 Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 01.	55

Figura 18	Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 02.	55
Figura 19	Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 03.	56
Figura 20	Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 04.	56
Figura 21	Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 05.	57
Figura 22	Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 06.	57
Figura 23	Secuencia de Salida Disparo 01.	59
Figura 24	Secuencia de Salida Disparo 02.	60
Figura 25	Secuencia de Salida Disparo 03.	61
Figura 26	Secuencia de Salida Disparo 04.	62
Figura 27	Secuencia de Salida Disparo 05.	63
Figura 28	Secuencia de Salida Disparo 06.	64
Figura 29	Registro de VOD - Monitoreo 01.	68
Figura 30	Registro de VOD - Monitoreo 02.	69
Figura 31	Registro de VOD - Monitoreo 03.	70
Figura 32	Registro de VOD - Monitoreo 04.	71
Figura 33	Registro de VOD - Monitoreo 05.	72
Figura 34	Perfiles de Fragmentación - Disparo 01.	73
Figura 35	Curva Granulométrica - Disparo 01.	74
Figura 36	Perfiles de Fragmentación - Disparo 02.	75
Figura 37	Curva Granulométrica - Disparo 02.	76
Figura 38	Perfiles de Fragmentación - Disparo 03.	77

Figura 39	Curva Granulométrica - Disparo 03.	78
Figura 40	Perfiles de Fragmentación - Disparo 04.	79
Figura 41	Curva Granulométrica - Disparo 04.	80
Figura 42	Perfiles de Fragmentación - Disparo 05.	81
Figura 43	Curva Granulométrica - Disparo 05.	82
Figura 44	Perfiles de Fragmentación - Disparo 06.	83
Figura 45	Curva Granulométrica - Disparo 06.	84
Figura 46	Curva Granulométrica - Línea Base	85
Figura 47	Producción - Disparo 01.	86
Figura 48	Rendimiento - Disparo 01.	87
Figura 49	Velocidad de Carguío - Disparo 01.	88
Figura 50	Producción - Disparo 02.	89
Figura 51	Rendimiento - Disparo 02.	90
Figura 52	Velocidad de Carguío - Disparo 02.	91
Figura 53	Producción - Disparo 03.	92
Figura 54	Rendimiento - Disparo 03.	93
Figura 55	Velocidad de Carguío - Disparo 03.	94
Figura 56	Producción - Disparo 04.	95
Figura 57	Rendimiento - Disparo 04.	96
Figura 58	Velocidad de Carguío - Disparo 04.	97
Figura 59	Producción Pala 04 - Disparo 05.	98

Figura 60	Producción Pala 02 - Disparo 05.	99
Figura 61	Rendimiento Pala 04 - Disparo 05.	100
Figura 62	Rendimiento Pala 02 - Disparo 05.	101
Figura 63	Velocidad de Carguío Pala 04 - Disparo 05.	102
Figura 64	Velocidad de Carguío Pala 02 - Disparo 05.	103
Figura 65	Producción - Disparo 06.	104
Figura 66	Rendimiento - Disparo 06.	105
Figura 67	Velocidad de Carguío - Disparo 06.	106
Figura 68	Costos de Perforación y Voladura - Disparo 01.	116
Figura 69	Costos de Perforación y Voladura - Disparo 02 .	119
Figura 70	Costos de Perforación y Voladura - Disparo 03 .	122
Figura 71	Costos de Perforación y Voladura - Disparo 04 .	125
Figura 72	Costos de Perforación y Voladura - Disparo 05 .	128
Figura 73	Costos de Perforación y Voladura - Disparo 06 .	131
Figura 74	Monitoreo de Vibraciones - Disparo 01.	133
Figura 75	Monitoreo de Vibraciones - Disparo 02.	134
Figura 76	Monitoreo de Vibraciones - Disparo 03.	134
Figura 77	Monitoreo de Vibraciones - Disparo 04.	135
Figura 78	Monitoreo de Vibraciones - Disparo 06.	136
Figura 79	Resumen de Registros de VOD.	141
Figura 80	Resumen de Producción.	144

Figura 81	Resumen de Rendimiento.	145
Figura 82	Resumen de Velocidad de Carguío.	145

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1 Matriz de consistencia.	152
Anexo 2 Fotografías de fragmentación Nv.3460 628 disparo 01.	153
Anexo 3 Fotografías de fragmentación Nv.3425 606 disparo 02.	154
Anexo 4 Fotografías de fragmentación Nv.3425 617 disparo 03.	156
Anexo 5 Fotografías de fragmentación Nv.3425 618 disparo 04.	158
Anexo 6 Fotografías de fragmentación Nv.3425 632 disparo 05.	160
Anexo 7 Fotografías de fragmentación Nv.3425 635 disparo 06.	163
Anexo 8 Fotografías pre y post voladura - disparo 01.	165
Anexo 9 Fotografías pre y post voladura - disparo 02.	166
Anexo 10 Fotografías pre y post voladura - disparo 03.	168
Anexo 11 Fotografías pre y post voladura - disparo 04.	168
Anexo 12 Fotografías pre y post voladura - disparo 05.	170
Anexo 13 Fotografías pre y post voladura - disparo 06.	171

## **RESUMEN**

La finalidad de esta tesis denominada: “Implementación de Emulsión Energética Fortis Extra en Roca Traquita”, es demostrar los beneficios que ofrecen las emulsiones energéticas (Fortis Extra) en el proceso de voladura en roca Traquita, donde los explosivos convencionales no logran los resultados deseados. Beneficios como disminución de la fragmentación, ampliación de malla de perforación, incremento de la disponibilidad de equipos de perforación, mejora en el rendimiento de los equipos de carguío, así como también demostrar el beneficio económico que implica el uso de Fortis Extra.

Para el estudio se realizó 06 voladuras en roca Traquita, controlando la calidad de la mezcla explosiva. Se monitoreó vibraciones, se evaluó eyecciones y secuencia de voladura. Posteriormente se realizó análisis de fragmentación de los frentes de minado y se evaluó el tonelaje cargado, rendimiento, tasa de excavación de los equipos de carguío y finalmente se realizó una evaluación económica del uso de Fortis Extra.

Palabras Clave: Emulsión Energética, Fragmentación, Ampliación.

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis called "Implementation of Fortis Extra Energy Emulsion in Traquita Rock" is to demonstrate the benefits offered by energy emulsions (Fortis Extra) in the process of blasting in Traquita rock, where conventional explosives do not achieve the desired results. Benefits such as reduced fragmentation, expanded drilling mesh, increased availability of drilling equipment, increased productivity and performance of loading equipment, as well as demonstrating the economic benefit of using Fortis Extra.

For the study, 06 blasting was carried out on the rock Traquita. controlling the quality of the explosive mixture. Vibrations were monitored, ejections and blasting sequence were evaluated. Subsequently, fragmentation analysis of the mining fronts was carried out. In the haulage the performance of the loading equipment was evaluated and finally an economic evaluation of the use of the use of Fortis Extra was made.

**Key Words:** Energetic Emulsion, Fragmentation, Enlargement.

## INTRODUCCIÓN

El afán de mejorar los resultados de la voladura en zonas complicadas planteó la necesidad de emplear nuevas tecnologías que permitan alcanzar los objetivos de mejora en la disminución de la fragmentación. Fruto de este cambio nace Fortis™ Extra, una emulsión energética que brinda mayor energía que los explosivos convencionales.

El propósito de usar Fortis™ Extra es mejorar la fragmentación en zonas donde los explosivos estándares no alcanzan el desempeño requerido, Fortis™ Extra provee una mayor energía que los explosivos estándar.

Al obtener material volado de menor tamaño, se pueden incrementar los ciclos de minado que se ven reflejados en el rendimiento y en la tasa de excavación de los equipos de acarreo. Otro propósito de usar Fortis Extra es la reducción de costos; al obtener mejor fragmentación se pueden variar los parámetros de diseño (ampliación de malla, diseños de carga), obteniendo una mayor disponibilidad de equipos de perforación.

La presente tesis consta de cinco capítulos, que se resumen enseguida.

El Capítulo I, se denomina Planteamiento del Problema donde se puede apreciar: Descripción del problema, Antecedentes, Formulación del problema, Justificación, Objetivos de la Investigación, Objetivos Generales, Objetivos Específicos, Hipótesis.

El Capítulo II, denominado Marco Teórico, trata de concentrar los conceptos básicos y definiciones asociadas a la voladura de rocas.

El Capítulo III, se denomina Marco Metodológico, referido a los mecanismos utilizados para el análisis de nuestra problemática de investigación.

El Capítulo IV, se denomina Resultados de la Investigación, en él se muestran los resultados de control de calidad (densidades), mediciones VOD y monitoreo de vibraciones, análisis de fragmentación, rendimiento de los equipos de acarreo y la evaluación económica del uso de Fortis™ Extra en Perforación y Voladura.

El Capítulo V, muestra los Análisis y Discusión de resultados obtenidos en el estudio.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción del problema**

Se vienen presentando problemas de fragmentación gruesa principalmente en la zona de la Fase 6B (Roca Traquita - Desmonte).

#### **1.1.1 Antecedentes del problema**

El comportamiento elástico de la Traquita producto de las cavidades en toda su matriz, ocasiona que el explosivo no fragmente adecuadamente.

#### **1.1.2 Problemática de la investigación**

Proponer el uso de emulsiones energéticas caso de Fortis Extra que provee un incremento de energía en un orden del 25,00 %, que ayudaría a mejorar la fragmentación, aumentar el rendimiento

de los equipos y causar un impacto positivo en temas de beneficio económico.

## **1.2 Formulación del problema.**

¿Cómo mejorar la fragmentación en roca traquita para incrementar el rendimiento de los equipos de carguío?

## **1.3 Justificación e importancia de la investigación.**

El presente estudio se enfoca en determinar si la aplicación de emulsión Energética Fortis™ Extra permitirá disminuir el tamaño de la fragmentación en zona de roca traquita.

Actualmente se vienen presentando fragmentación gruesa producto de las voladuras en zona de Roca Traquita, causando pérdidas de rendimiento en los equipos de acarreo.

Debido a que el uso de emulsión Fortis Extra genera una mayor energía y presión de detonación en la detonación del explosivo, se desea implementar para disminuir la fragmentación actual y mejorar el proceso de carguío de las palas.

## **1.4 Alcance y limitaciones**

Para el estudio se contó con un total de 400,00 toneladas de Emulsión Fortis Extra usadas en 06 voladuras para la realización del estudio. Se tuvo la limitación de no poder modificar la secuencia de detonación, así como los tiempos de detonación de las voladuras.

## **1.5 Objetivos de la investigación.**

### **1.5.1 Objetivo general**

Determinar las ventajas técnicas y económicas de la implementación de emulsión Fortis Extra.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Mejorar la fragmentación, disminuyendo los valores de P80 al emplear emulsión Fortis Extra.
- Aumentar el rendimiento y tasa de excavación de las palas.
- Demostrar el incremento de la velocidad de detonación con emulsión Fortis Extra.
- Demostrar rentabilidad económica del explosivo Fortis Extra mediante evaluación económica.

## **1.6 Hipótesis.**

### **1.6.1 Hipótesis general**

Sí se puede mejorar la fragmentación en roca traquita mediante la implementación de emulsión Fortis Extra.

### **1.6.2 Hipótesis específicas**

- Tener un explosivo más energético nos permite disminuir el valor de P80 mejorando la fragmentación.
- Al emplear emulsión Fortis Extra mejorará la fragmentación provocando que las palas aumenten su rendimiento y tasa de excavación.
- La gasificación de la emulsión Fortis Extra mejorará la sensibilidad del explosivo aumentando los valores de velocidad de detonación.
- Implementar una emulsión más energética nos permite incrementar la malla de perforación generando ahorros en perforación y voladura.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

En el 2013 se realizó un estudio del uso de Emulsión Fortis Extra en rocas competentes con presencia de hierro mina Shougang desarrollado por el Ing. Wenceslao Valenzuela Cerrano de la empresa Orica Mining Services Peru S.A., donde se planteó y demostró que el uso de Emulsión Fortis Extra, ayudó en el mejoramiento de la fragmentación en rocas competentes con presencia de hierro.

El Bachiller Juan Luis Vilca Angulo (2013), presentó la investigación: "Uso de Emulsiones Gasificadas para el mejoramiento de la columna explosiva en Minería Aurífera Santa Rosa (Comarsa)", donde plantea el uso de emulsiones gasificadas para mejorar el rendimiento de la carga explosiva en la columna de carga.

La empresa Orica Mining Services (2015), realizó un estudio de implantación de emulsiones energéticas para reducir la fragmentación de rocas con dureza elevada, mayor a 250,00 Mpa. en mina Cerro Verde donde se obtuvieron resultados favorables técnicos y económicos.

## **2.2 Bases de la investigación**

### **2.2.1 Propiedades de los explosivos**

#### **a) Velocidad de detonación**

La velocidad de detonación (VOD) de un explosivo es la rapidez con la que el frente de detonación se desplaza a lo largo de la columna explosiva (frente de choque). Cada mezcla explosiva tiene una velocidad detonación diferente y depende de la composición de la mezcla explosiva, el porcentaje de emulsión tiende a hacer un factor determinante cuando hablamos de velocidad de detonación en explosivos a granel. Los explosivos actuales que se usan en la mayoría de minas poseen velocidades que varían

aproximadamente desde 2500,00 m/s hasta más de 6.000,00 m/s.

## **b) Densidad**

Se puede considerar a la densidad como una de las más importantes propiedades de los explosivos, ya que es la que se usa con mayor frecuencia al momento de diseñar y es la que es más fácil de obtener de manera precisa y rápida durante la operación, la densidad se da en las unidades  $\text{g/cm}^3$ . La densidad de los explosivos actuales se encuentra en un rango de  $0,6 \text{ gr/cm}^3$  hasta  $1,35 \text{ gr/cm}^3$ .

Si tenemos un explosivo con una densidad elevada puede que este no llegue a detonador, y a esta densidad se le conoce con el nombre de densidad crítica, estas circunstancias suelen ocurrir en taladros de gran profundidad mayores a 20 m. principalmente en el fondo del taladro donde la presión hidrostática es mayor debido a la presión que ejerce el peso del explosivo en la parte inferior del taladro.

### c) Presión de detonación

Es la presión en la zona de reacción de la columna explosiva detrás del frente de detonación. Es un parámetro muy empleado para poder determinar la efectividad de los explosivos y el trabajo que realizan.

Una de las maneras de determinar la presión de detonación es por medio de la densidad del explosivo y su velocidad de detonación, donde esta última juega un papel muy importante, ya que al ser un parámetro cuadrático influye sustancialmente en los resultados, la cual se encuentra expresada en la ecuación N°1.

$$P_d = 0,25 * \rho * V_d^2 * 10^6 \quad [01]$$

Donde:

$\rho$  = Densidad (g/cm<sup>3</sup>).

$V_d$  = Velocidad de detonación, (m/seg.).

## **2.2.2 Tipos de Explosivos**

### **a) ANFO**

El ANFO a granel está formado por prills de nitrato de amonio y diesel. La composición nominal del ANFO es 94,49 % de Nitrato de Amonio y 5,51 % de petróleo. En lo general el ANFO puede ser fabricado, ya sea mezclado en campo directamente o en equipos especializados como los camiones fábrica. El ANFO es un explosivo especialmente usado por su gran poder de generación de gases, el porcentaje de diesel debe ser el indicado porque una pequeña variación en este, puede afectar su rendimiento. El uso de ANFO no puede usarse en taladros húmedos o con presencia de agua debido a su mala resistencia a esta que puede ocasionar su deterioro y generación de reacciones adversa con presencia de gases nitrosos.

**Figura 1**

*Composición del ANFO*



Fuente: Técnicas y tecnologías de voladura Orica 2010.

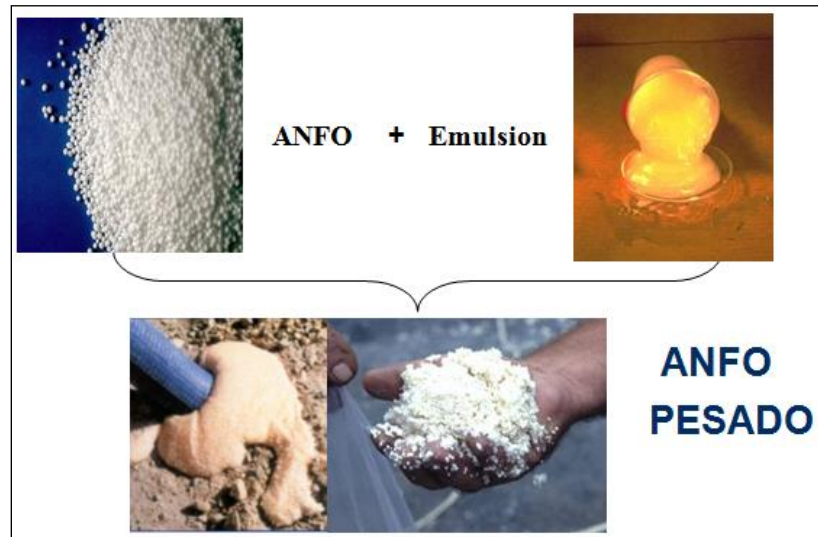
## **b) HEAVY ANFO**

Este explosivo es una mezcla de la emulsión con ANFO (nitrato de amonio y diesel), esta mezcla la realizan los camiones fábrica, sus principales características son:

- Mayor energía (Mj).
- Alta resistencia al agua.
- Mayor sensibilidad.
- Versatilidad para cambio de energía a lo largo del taladro.

**Figura 2**

*Composición del Heavy ANFO*



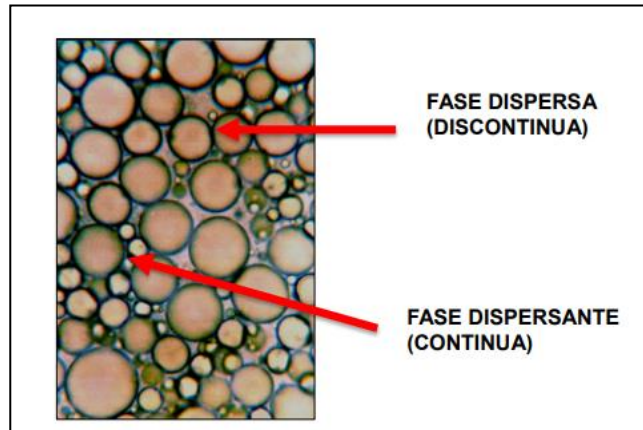
*Fuente: Técnicas y tecnologías de Voladura Orica 2010.*

### **c) Emulsiones explosivas**

Podemos definir una emulsión explosiva como una mezcla entre dos líquidos inmiscibles (que no se pueden disolver entre sí). Las emulsiones están construidas por 02 fases, en las cuales, en la fase dispersada, es distribuida en una fase o continua en la (Tabla 1).

**Figura 3**

*Fases de una Emulsión*



*Fuente: Técnicas y tecnologías de Voladura Orica 2010.*

**Tabla 1**

*Composición de emulsiones explosivas*

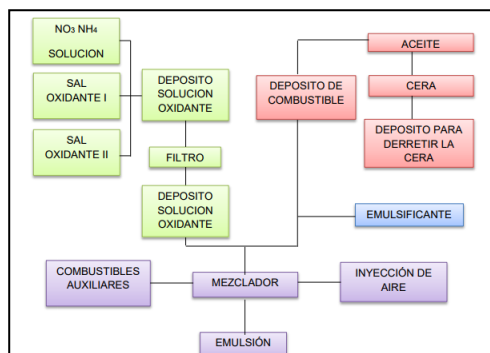
<b>Fase 1 Discontinua</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Agua	10,00-22,00
Sales	65,00-85,00
Espacios	1,00-2,00
<b>Fase 2 Continua</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Combustibles	4,00-8,00
Emulsificantes	0,80-1,20

*Fuente: Técnicas y tecnologías de voladura Orica 2010.*

Existen varios tipos de emulsiones según su proceso de fabricación y componentes para el caso de emulsiones explosivas, se les denomina “agua en aceite” en las que la fase acuosa está constituida por sales inorgánicas disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible.

**Figura 4**

*Muestra fabricación de una emulsión*



*Fuente: Técnicas y Tecnología de voladuras Orica 2010.*

### 2.2.3 Emulsión Fortis Extra

Fortis™ Extra son las emulsiones explosivas a granel más energéticas disponibles en la actualidad. Esta nueva emulsión permite reemplazar a las emulsiones estándares actuales y ha sido diseñada para su uso en minería

superficial, ideal para situaciones adversas a las voladuras, en aquellas zonas muy duras y competentes, debido a su alto poder energético.

**Tabla 2**

*Especificaciones Técnicas Fortis Extra vs Emulsión Estándar*

<b>Productos</b>	<b>Emulsión Fortis Extra</b>	<b>Emulsión Estándar</b>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,34	1,30
VOD (m/s)	3500,00-6000,00	3000,00-5300,00
<b>Energía Relativa Efectiva (REE)</b>		
Fuerza Relativa en Peso	134,00	100,00
Fuerza Relativa en Volumen	172,00 – 190,00	137,00 – 162,00
Volumen de Gases (l/kg)	984,60	1023,00
Cantidad de CO <sub>2</sub> (kg/t)	201,00	218,00
Calor de Formación (Mj/kg)	3,42	2,54
Energía Efectiva	2,86	2,29
Balance de Oxígeno	1,80	1,62

*Fuente:* Ficha Técnica Orica 2017.

**Tabla 3**

*Especificaciones Técnicas Fortis Extra 50 vs HA 45/55*

<b>Productos</b>	<b>Fortan Extra 50</b>	<b>HA 45 / 55</b>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,25	1,28
VOD (m/s)	5 500 - 6000	5300 - 5500
<b>Energía Relativa Efectiva (REE)</b>		
Fuerza Relativa en Peso	126	117
Fuerza Relativa en Volumen	203	190
Volumen de Gases (l/kg)	984,6	991,1
Calor de Formación (Mj/kg)	3,42	3,1
Energía Efectiva (Mj/kg)	2,83	2,61

*Fuente:* Ficha Técnica Orica 2017.

#### **2.2.4 Energía del Explosivo**

Enaex (2000), la razón por la cual aplicamos explosivos durante la voladura es para poder ejercer trabajo y transmitir energía. Esta energía puede emplearse para fragmentar la roca en minería o generar un corte del acero o concreto para el caso de demoliciones. El explosivo se basa en energía química en un estado sólido que al detonar y ser liberada pasa a un estado gaseoso en milisegundos y la detonación de un explosivo se rige por las leyes de conservación de energía. La energía de un explosivo durante la detonación también se expresa de otras formas como:

- Pulverización alrededor de la pared del taladro
- Rotura del macizo rocoso (radial y tensión).
- Calor y luz.
- Desplazamiento.
- Vibraciones.
- Onda aérea.

La energía del explosivo es liberada a la roca circundante al taladro en dos eventos, mediante la presión de detonación y presión de taladro. La detonación, ejerce una fuerza para lograr la fragmentación de la roca y la presión de taladro se genera por el aumento del gas, esta expansión de gases puede ser responsable de alguna fragmentación, pero su principal acción se expresa en el movimiento del material.

#### **2.2.5 Mecanismo de fragmentación de la roca**

Castilla (2013), durante la detonación de un explosivo se puede apreciar dos eventos que marcan el mecanismo de fragmentación de la roca. El primer evento está asociado por la generación de una onda de detonación de gran velocidad que está en función del tipo de explosivo a usar y un segundo evento, producto determinado por una gran masa de gas, la cual es formada por el cambio de estado de sólido a gaseoso a alta temperatura del explosivo en un tiempo sumamente reducido.

Durante la detonación de un explosivo que se encuentra confinado en un taladro, se produce una onda

detonación que se trasmite a través del macizo rocoso. Esta onda de detonación al llegar a una distancia de su origen produce un efecto de compresión que al sobrepasar este nivel se transforma en esfuerzo de tracción, la velocidad con la que viaja esta onda de choque está en el orden de 2000 a 6000 m/s.

Este cambio de compresión a tracción puede evidenciarse en la figura N°13, esto para el caso de un taladro perforado sin presencia de cara libre. La resistencia a tracción de la roca puede estar en el orden de hasta el 10 por ciento de su resistencia a compresión, por lo cual es más fácil romper la roca por tracción que por compresión.

Con lo expuesto anteriormente se puede afirmar que la fragmentación de la roca se debe a los fenómenos de reflexión de las ondas de compresión y expansión de los gases.

Existe una relación de transmisión de onda de compresión cuando es en función a la impedancia, si una onda de compresión va de una zona de mayor a menor

impedancia, parte de esta onda se trasmite en forma de compresión y otra en forma de tracción.

Se puede definir como impedancia característica (N) al valor de multiplicar la densidad del medio ( $\rho$ ) por la velocidad de propagación de la onda (b), de esta forma se puede diferenciar entre la impedancia del explosivo y la roca. La impedancia de la roca se define con la ecuación N°8 de la siguiente forma:

$$NRoca = \rho Roca * bRoca \quad [08]$$

Donde:

$\rho$  : Densidad de la roca.

c : Velocidad de propagación de la onda en la roca.

Con lo expuesto anteriormente, se puede afirmar que mientras más blanda o menor resistencia tenga la roca, la velocidad de transmisión de la onda será más lenta. De la misma manera que para la roca se puede realizar el cálculo

de la impedancia para el explosivo como se muestra en la ecuación N° 9.

$$N_{\text{Explosivo}} = \rho_{\text{Explosivo}} * x_{\text{Explosivo}} \quad [09]$$

Siendo:

$\rho$  : Densidad del explosivo.

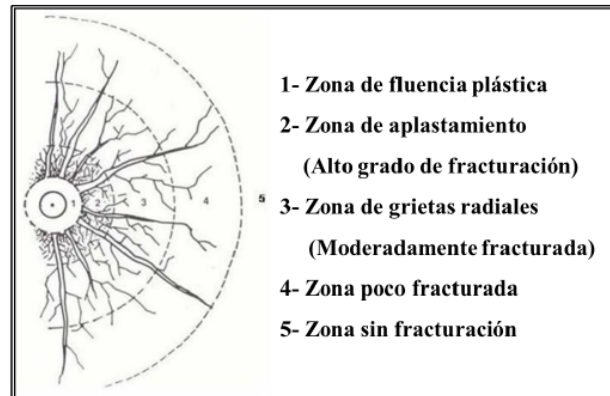
$x$  : Velocidad de detonación del explosivo.

Si se desea evidenciar el mecanismo de fracturación de la roca, se puede realizar mediante una prueba detonando un taladro aislado sin una zona refractante o cara libre, los fenómenos que causaría esta prueba se pueden evidenciar en la figura N° 5.

- Apertura del taladro por rotura plástica de la roca, a causa de un efecto de compresión de la onda de choque.
- Generación de grietas producidas por la tracción de la onda de detonación. Las grietas pueden ser del tipo radial no muy visibles.

## Figura 5

*Tipos de fisuras en el taladro*



*Fuente:* Castilla, 2013.

La etapa inicial es esencial para fracturar el macizo rocoso, es donde se emplea la energía producida por la velocidad de detonación que no es mayor al 10 % de la energía total que generan los explosivos.

Si existiera una cara libre cercano al taladro a detonar la onda de detonación se refractaría en dicha superficie y se produciría un efecto de esfuerzo de tracción que aumentaría el grado de fractura del macizo rocoso y la caída de rocas en la zona de la cara libre. Con una mayor profundidad y mayor cantidad de explosivo, mayor será la potencia y el poder rompedor del explosivo.

Luego de esta primera etapa continúa una fase de menor velocidad, en la cual los gases producto de la reacción de detonación con alta temperatura y alta presión expanden las fisuras generadas en la etapa inicial, abriéndolas en su totalidad y movimiento el macizo rocoso hacia la zona de la cara libre.

#### **2.2.6 Factores que afectan al desempeño de la voladura**

Castilla (2013), es importante poder determinar los factores que pueden ser modificados y cuáles son los factores intrínsecos para que de manera previa se realice un cálculo efectivo de la voladura.

El objetivo de la voladura es obtener resultados óptimos en fragmentación sin causar daño a los taludes o elementos cercanos al disparo.

Para conseguir el objetivo de fragmentación de la roca, se deben tener en consideración tres factores que son claves para el diseño de voladuras.

**Energía de explosivo necesaria.** Si se quiere tener buenos resultados, se debe considerar la cantidad de explosivo adecuada para cada tipo de roca.

**Distribución de energía adecuada.** No todo el taladro es cargado con explosivo, hay zonas en las cuales no existe un contacto directo entre el explosivo y la roca circundante, es por ello que es importante tener una distribución del explosivo adecuado para no tener sobre tamaños en los resultados de la fragmentación.

**Eficiente confinamiento.** Para conseguir una mayor efectividad del explosivo es necesario tener un buen confinamiento del explosivo que permita que los gases y la energía generada en la detonación no escape del taladro en forma de eyección de roca, sino que contribuya en la disminución de la fragmentación del taladro.

## **2.2.7 Parámetros de diseño de voladura**

### **a) Burden y espaciamiento**

El burden es la distancia entre un taladro al frente de la zona refractante o cara libre y el espaciamiento es la distancia entre taladros en una misma fila de taladros.

### **b) Sobre perforación**

Es la distancia del taladro por debajo de la línea de diseño de banco, tiene la finalidad de romper la zona inferior del taladro para evitar toes y ondulaciones en el piso inferior de la voladura.

### **c) Longitud de taco**

El taco es la zona superior del taladro que se rellena con un material cutting o desmonte, con el objetivo de confinar y retener a la energía de la explosión para que se produzca la fragmentación de la roca. Si el taco es insuficiente puede ocasionar una

pronta liberación de los gases, generándose problemas de onda aérea y fly rocks. Por otro lado, con un taco excesivo se obtendrá una fragmentación con mayores tamaños y poco esponjamiento de la pila de material.

Para el cálculo de longitud de taco empleamos la fórmula del factor SD.

$$SD = \frac{D}{W^{1/3}} \quad [10]$$

Donde:

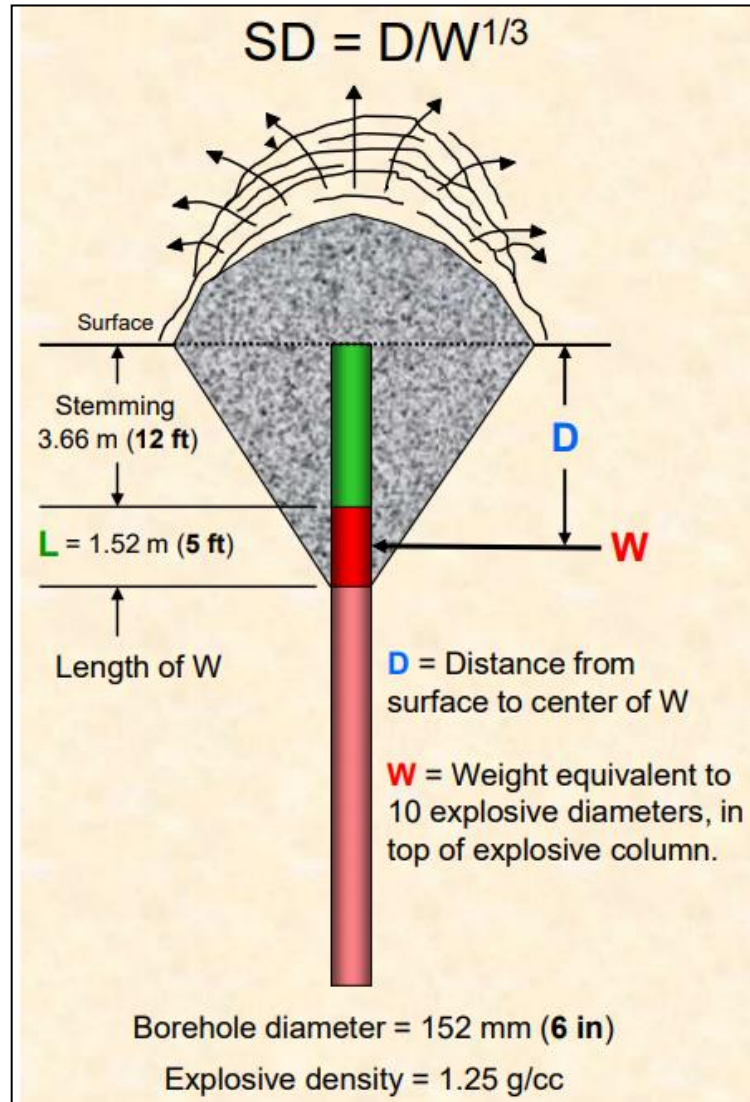
SD = Factor de Taco

D = Distancia desde el centro de W a la superficie

W = Peso del explosivo ocupado en la parte superior de la columna de explosivo, equivalente a la longitud de 10 diámetros de taladro (kg).

**Figura 6**

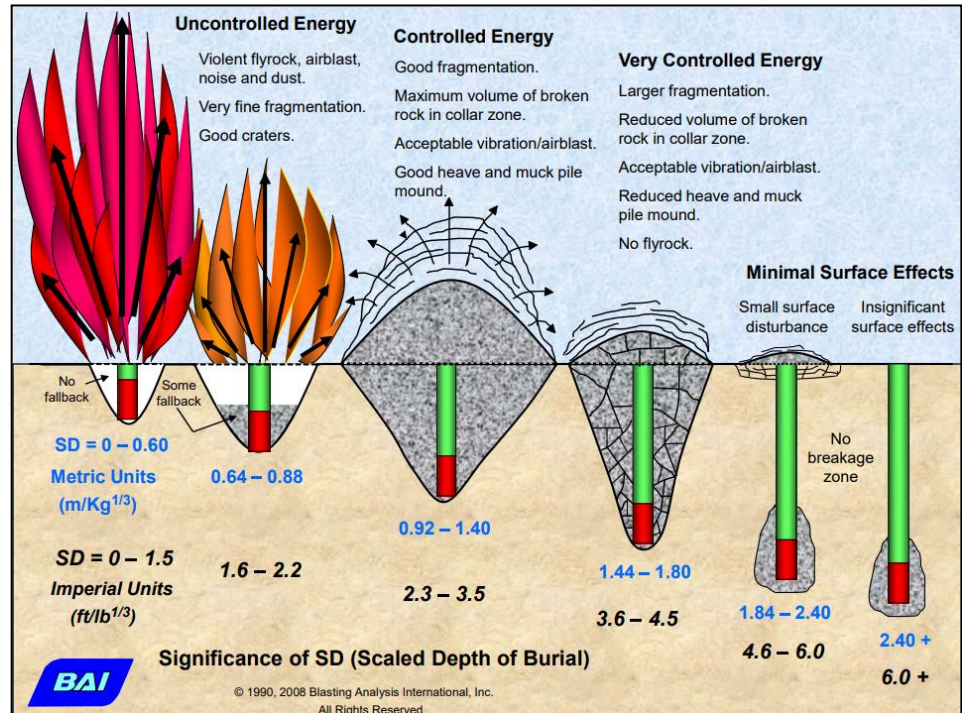
*Diagrama de Factor SD*



*Fuente:* Frank Chiappetta (2010).

**Figura 7**

*Escenarios de cálculo de factor SD*



Fuente: Frank Chiappetta (2010).

**d) Factor de carga**

Es la cantidad de explosivo para un determinado volumen de roca, es usado como un parámetro económico al momento de realizar diseños de voladura o también es usado como un parámetro para determinar la potencia de una voladura o taladro, suele calcularse con la ecuación N°10.

$$F.C = \frac{Q}{B * E * H} \quad [11]$$

Siendo:

Q = Cantidad de explosivo (Kg).

B= Burden (m).

E = Espaciamiento (m).

H = Altura de banco (m).

Existen otros métodos de poder determinar el factor de potencia para un determinado tipo de roca, uno de ellos es a través de la resistencia a la compresión de la roca. Kutuzov estableció un sistema para poder correlacionar el factor de carga a una resistencia de compresión, la cual se puede apreciar en la tabla N°4. Esta tabla permite calcular el factor de carga mediante una interpolación sencilla.

**Tabla 4***Relación Factor de Carga y Resistencia la compresión*

Factor de Carga (kg/m <sup>3</sup> )		Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)
Límites	Valor Medio	
0,12 - 0,18	0,15	11,00-32,00
0,18 - 0,27	0,22	20,00 – 45,00
0,27 - 0,38	0,32	30,00 – 65,00
0,38 - 0,52	0,45	50,00 – 90,00
0,52 - 0,68	0,60	70,00 – 120,00
0,68 - 0,88	0,78	110,00 – 160,00
0,88 - 1,10	0,99	145,00 – 205,00
1,10 - 1,37	1,23	195,00 – 250,00
1,37 - 1,68	1,52	238,00 – 300,00
1,68 - 2,03		> 285,00

Fuente: Kutuzov, (1979).

### **2.2.8 Accesorios de voladura.**

#### **a) Booster.**

Accesorio de voladura que otorga una alta potencia para iniciar cargas explosivas o columnas explosivas, el cual es usado en diferentes escenarios de las voladuras. Está fabricado con PETN y TNT principalmente, proporcionándole una buena estabilidad y gran poder rompedor ideal para poder iniciar explosivos no tan sensibles. Orica (2017).

**Tabla 5**

*Propiedades Técnicas del Booster*

<b>Propiedades Técnicas - Boooter Pentex</b>	
<b>Densidad</b>	1,30 g/cc
<b>Velocidad de Detonación</b>	>7 000,00 m/s
<b>Resistencia al Agua</b>	Excelente, iniciación después de 72 hr.
<b>Iniciador Mínimo</b>	Detonador N°8
<b>Calor Desarrollado</b>	1231,00 Kcal/Kg
<b>Volumen de Gases</b>	612,00 L/Kg
<b>Potencia en Peso</b>	1,28 equiv. ANFO
<b>Potencia en volumen</b>	2,75 equiv. ANFO
<b>Color</b>	Naranja
<b>Recubrimiento</b>	Polietileno

*Fuente:* Ficha Técnica Orica 2017

**Figura 8**

*Booster – Pentex Orica*



*Fuente:* Ficha técnica Orica 2017.

## b) Detonador no eléctrico

Detonador de alta potencia, el cual se puede encontrar en diferentes rangos de tiempos dados en milisegundos que van desde los 400 a 1400 ms generalmente, es usado para poder iniciar al booster, en voladuras electrónicas y es usado como un detonador de respaldo en caso de falla del detonador electrónico. Orica (2017).

**Tabla 6**

*Modelos de Iniciadores no electrónicos*

<b>Modelos de Iniciadores no Electrónicos</b>			
<b>Numeración</b>	<b>Milisegundos (ms)</b>	<b>Numeración</b>	<b>Milisegundos (ms)</b>
0	0,00	12,00	400,00
1	25,00	13,00	450,00
2	50,00	14,00	500,00
3	75,00	15,00	600,00
4	100,00	16,00	700,00
5	125,00	17,00	800,00
6	150,00	18,00	900,00
7	175,00	19,00	1 000,00
8	200,00	20,00	1 100,00
9	250,00	21,00	1 200,00
10	300,00	22,00	1 300,00
11	350,00	23,00	1 400,00

*Fuente:* Ficha Técnica Orica 2017.

### **Figura 9**

*Iniciador no Eléctrico – Exel.*



*Fuente:* Ficha técnica de Orica 2017.

### **c) Sistema de iniciación I-Kon.**

Es un sistema desarrollado por Orica, basado en un detonador electrónico con un único serial de identificación, el detonador cuenta con un chip en el cual se asigna el tiempo de retardo y se guarda la información de secuencia de salida, en un sistema de alto grado de seguridad y grandes beneficios para la voladura.

- Cuenta con un tiempo de programación de 0,00 a 15 000,00 milisegundos (ms).

- Una exactitud del 0,10 %.
- Resistencia a la presión dinámica alrededor de 100,00 MPa.

**Figura 10**

*Iniciador Electronico – I-Kon II.*



*Fuente: Ficha técnica de Orica 1017.*

### **2.2.9 Roca traquita**

Son rocas ígneas de grano fino y alcalinas, pueden variar desde tipos sobresaturadas, con un contenido menor al 10,00 % de cuarzo, hasta tipos de altos grados de

sobresaturación con presencia de feldespatoides. Los feldespatos son, frecuentemente, los minerales dominantes: sanidina, albita o un tipo sódico-potásico.

**a) Propiedades**

Su aspecto es de blanco a gris claro de grano fino y estructuras fluidales con una estructura porosa con superficie áspera, proviene de yacimientos de corrientes de lava por emisión de magma sieníticos, generalmente empleada en la construcción.

Compuestas de feldespatos potásicos, plagioclasa biotita, piroxeno y hornblenda, posee una propiedad de conductividad del calor por ser roca ígnea y puede presentar fenocristales de feldespatos, la densidad de la traquita es de 2,60 g/cm<sup>3</sup>.

**b) Zona de afloramiento roca traquita**

La unidad lito-estratigráfica denominada Traquita (nombre local), promedia 180,00 m de espesor aproximadamente en la zona sur y sureste del actual

tajo y se encuentra sobre yaciendo a la Toba Salmón. De manera general, estas lavas fluyen a manera de un conducto durante la extrusión y flujo superficial, dejando estructuras internas relacionadas al fluido viscoso, bandeado y con plegamiento de ejes centimétricos perpendiculares a la dirección de flujo (Traquita Fluidal); la parte central de este conducto presenta vesículas estiradas según la dirección del flujo acompañadas de fenocristales prismáticos alineados (Traquita Oquerosa). Simétricamente se observa una facies externa coherente de magma solidificado, con textura porfirítica y pasta vítrea en la parte inferior a silicificada en la parte superior (Traquita Porfirítica Inferior y Superior respectivamente).

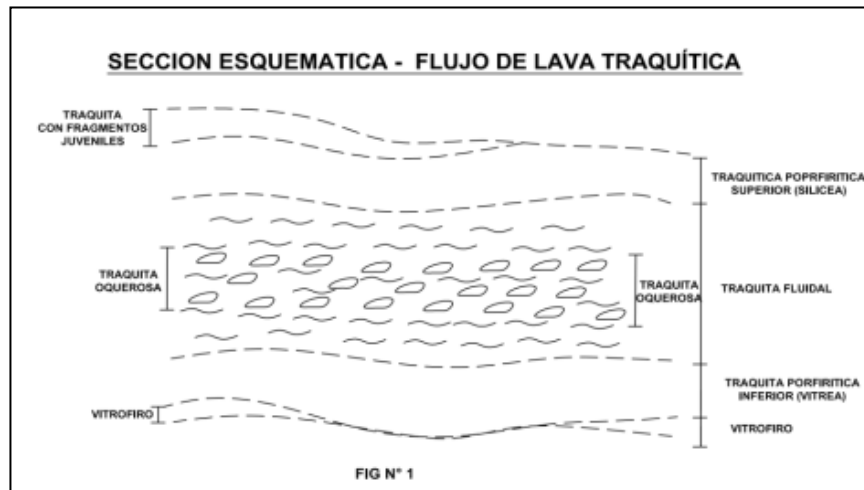
Este envolvente desarrolló disyunción columnar perpendicular a la superficie de enfriamiento en su parte más externa, tanto en el nivel superior como inferior (Traquita porfirítica Superior e Inferior respectivamente), lo que ocasiona inestabilidad en los bancos por volcadura de bloques (toppling). La parte intermedia de la Traquita Porfirítica Inferior se

encuentra constituida por un nivel con cavidades de desgasificación con poca a nula presencia de trizas y vidrio volcánico, lo que la diferencia de la Traquita Oquerosa, ubicada en la parte interna del flujo-lava. La parte basal de la envolvente porfirítica (Traquita Porfirítica Inferior), grada a vidrio volcánico de color marrón a negro, preservando la textura original de la lava enfriada abruptamente al contacto con la Toba Salmón.

Esta variación en el proceso de cristalización de la Traquita no es continua sino por el contrario se observa irregularmente tanto en los afloramientos como en los testigos de perforación.

**Figura11**

*Sección Esquemática -Flujo de la Lava Traquítica*



*Fuente:* Informe Cobertura Volcánica Post-Mineral.

Traquita Oquerosa. La mayor fluidez se debió a la alta concentración de gases disueltos, los mismos que al ser eliminados dejaron cavidades de desgasificación elongadas según la dirección del flujo en la parte media de la colada de lava traquítica, produciendo un bandeo mineralógico y textural.

**Figura12**

*Testigos Roca Traquita*



*Fuente: Propia.*

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

La investigación es de tipo experimental, en la cual se elabora una línea base de los monitores de voladura y se comparan con los resultados obtenidos. Los parámetros de medición son:

- Análisis de fragmentación (P80).
- Rendimiento y velocidad de palas.
- Velocidad de detonación del explosivo.
- Evaluación económica de la implantación de explosivo Fortis Extra.

##### **3.1.1 Análisis de fragmentación.**

Se desarrolla mediante fotografías tomadas en los frentes de minado donde se empleó emulsión Fortis Extra, estas fotos son tomadas con una escala referencia y

posteriormente procesadas por un software (Power Sieve 3). El software realizara cálculos del volumen de los fragmentos en función al valor de la escala usada, calculando valores como porcentajes de material pasante (P50, P60, P80), índice de uniformidad y tamaño característico, los resultados son mostrados en una curva de fragmentación. El software Power Sieve 3 está basado en el modelo de Kuz-Ram.

### **3.1.2 Rendimiento y velocidad de excavación de palas**

La evaluación del rendimiento y velocidad de carguío de las palas es un indicar importante para poder determinar los beneficios del uso de emulsión Fortis Extra. Para esta evaluación se usó información proporcionada por Dispatch de días donde las palas se encontraban trabajando en los proyectos disparados con emulsión Fortis Extra, e información de los días anteriores y posteriores de los trabajados con Fortis Extra (línea base), esto con la intención de que la comparación se realice en la misma zona y tipo de roca.

### **3.1.3 Velocidad de detonación.**

La velocidad de detonación es un indicador que permite determinar la eficiencia y calidad del explosivo, la medición se realiza mediante un equipo llamado MicroTrap el cual realiza la medición de 01 o 02 taladros en la voladura. Para esta prueba se emplea un cable especial de alta resistencia (10.8 ohm/m), el cual se introduce a lo largo de toda la columna del taladro, luego se emplea un cable coaxial cuya función es de transmitir la información del taladro hacia donde se ubicará el equipo Microtrap.

El monitoreo se basa en medir la caída de resistencia en el cable resistivo a medida que el frente de detonación lo consume, en este proceso el equipo registra las variaciones de resistencia por cada décima de milisegundo, obteniendo valores de tiempo y resistencia por cada intervalo de tiempo, la cual podrá ser transformada a distancia obteniendo así la velocidad del explosivo, la cual será apreciada en una gráfica luego de descargar la información.

Se realizaron monitores de velocidad de detonación en todas las voladuras para determinar la eficiencia y calidad del explosivo

#### **3.1.4 Evaluación económica**

Para poder validar el impacto económico al emplear emulsión Fortis Extra, se requiere de una evaluación económica comparativa entre el caso base y los casos propuestos.

La evaluación económica se realizará tanto para el explosivo, accesorios de voladura y costos de perforación; la suma de los costos mencionados representará el costo total de perforación y voladura. En las voladuras de prueba se realizaron diferentes tipos de configuración de carguío y diferentes parámetros de perforación con lo cual se podrá comprar los resultados obtenidos con los cálculos de los costos de perforación y voladura.

## **3.2 Población y muestra.**

El estudio se realiza en la Fase 06 zona de roca Traquita, para la creación de la línea base se usó información de voladuras posteriores en zona de mina traquita elaborando un promedio para el caso de análisis fragmentación, tonelaje diario de acarreo, rendimiento y velocidad de carguío de las palas. Los valores de velocidad de detonación se compararon con registros posteriores en la misma zona. Se realizó un total de 06 voladuras de prueba, la primera en las mismas condiciones y en las posteriores se fue cambiando el diseño en función a los resultados obtenidos.

## **3.3 Operacionalización de variables**

### **3.3.1 Variables independientes**

Diseño de Voladura (burden, espaciamiento, factor de potencia, sobre perforación, longitud de taco, densidad del explosivo, secuencia de detonación).

#### **Indicadores o subvariables**

- Factor de Potencia
- Factor de Energía

### **3.3.2 Variables dependientes**

Tamaño medio de Fragmento X50, P80, índice de uniformidad, velocidad de detonación del explosivo.

#### **Indicadores o subvariables**

- Rendimiento y velocidad de excavación de palas.
- Evaluación económica.

### **3.4 Instrumentos y técnicas de recolección de datos**

Los instrumentos serán usados para la medición de fragmentación, será por medio de fotografías escaladas en los frentes de minado usando el software Power Sieve 3.

Las velocidades de detentación se medirán usando cable de alta resistencia con un equipo Micro-Trap MREL.

Los controles de densidades, temperatura y gasificación se efectuarán en campo por medio de kit de calibración (balanzas, recipientes calibrados, termómetros).

Los datos de rendimiento se obtendrán por medio del sistema Dispatch de las palas.

Las mediciones de vibraciones se obtuvieron con sismógrafos triaxiales Instantel.

### **3.5 Procesamiento y análisis de datos**

#### **3.5.1 Validación y edición**

La línea base creada se sustenta en toma de información en campo y datos históricos del área de voladura: fragmentación, rendimiento, velocidad de carguío y registro de velocidad de detonación.

#### **3.5.2 Codificación**

Se planteó una línea base de fragmentación en función a mediciones tomadas en la zona previa a las voladuras de prueba, se solicitó información a Dispatch de tonelaje diario, rendimiento y velocidad de carguío de las palas para la generación de la línea base.

La primera voladura de prueba se realizó manteniendo los mismos parámetros de perforación y voladura estandarizados para la zona de roca traquita, los parámetros

de las siguientes voladuras se fueron ajustando en función a los resultados obtenidos.

### **3.5.3 Introducción de datos**

Los datos serán introducidos a softwares y en libros de Excel, la mayoría de los resultados serán proporcionados por los softwares especializados.

### **3.6 Presentación de resultados**

Para dar a conocer los resultados se presentaron gráficas comparativas de análisis de fragmentación entre las voladuras de prueba y la línea base.

Gráficas comparativas de tonelaje diario, rendimiento y velocidad de carguío por cada pala en zona donde se utilizó emulsión Fortis Extra versus emulsión estándar.

Se mostrarán los valores de velocidad de detonación mediante gráficas donde se observará el comportamiento de la misma y tablas de los valores de densidad obtenidos en los controles de calidad.

Se realizará una evaluación económica comparativa entre cada voladura de prueba versus la línea base, para determinar los beneficios económicos al emplear emulsión Forits Extra.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

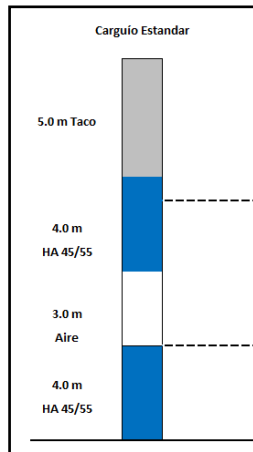
#### **4.1 Parámetros de diseño**

Para el inicio de las pruebas se planteó un diseño de carga que mantuvieran la configuración estándar con la que se venía trabajando en la roca traquita, manteniendo el mismo factor de carga y con una longitud de taco similar (Ver Figura 13, 14, 15). Durante el desarrollo de las pruebas los diseños de carga se fueron modificando para probar diferentes configuraciones con el objetivo de obtener mejores resultados en términos de fragmentación y ampliación de malla.

Se evaluó los parámetros estándar y propuestos para determinar que estuvieran dentro de los parámetros de diseño, se evaluó la longitud del taco, incidencia de la energía en el macizo rocoso, factor de carga, factor de rigidez y secuencia de detonación.

**Figura 13**

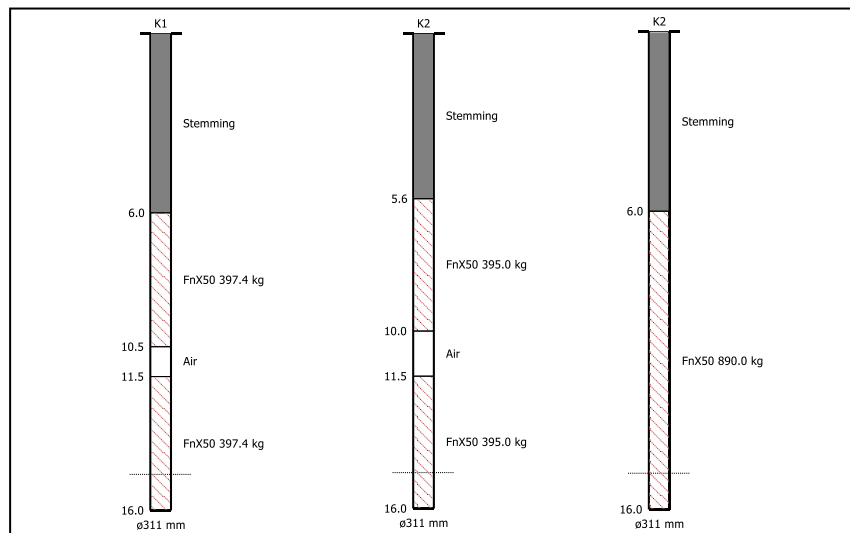
*Diseño de Carga Estándar*



*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 14**

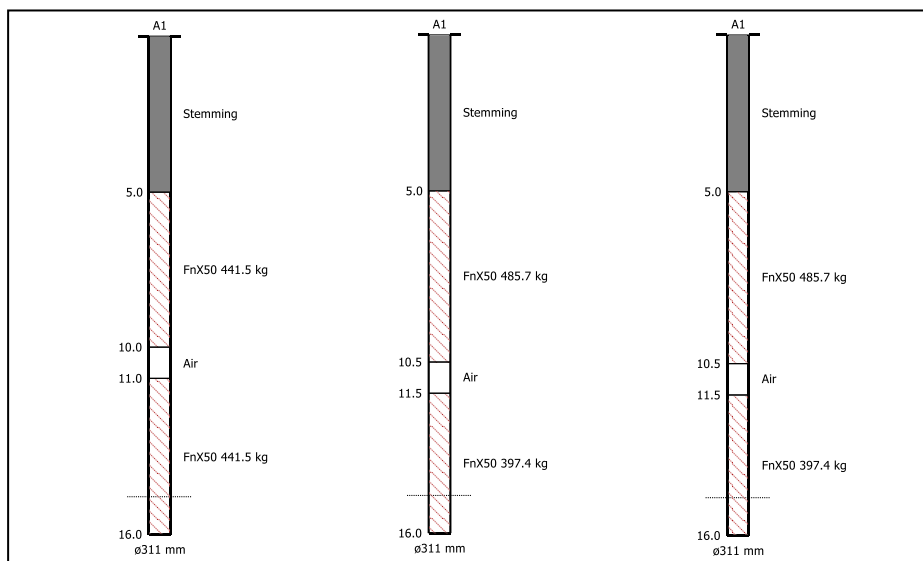
*Diseño de Carga de las Voladuras 01, 02 y 03*



*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 15**

*Diseño de Carga de las Voladuras 04, 05 y 06*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 7**

*Parámetros de diseño de Perforación y Voladura*

N° Disparo	Explosivo	Malla (m)	Diámetro Talado (Pulg)	Altura de Banco (m)	Pasadura (m)	Densidad de Roca (g/cc)
<b>Línea Base</b>	Estándar /HA45 55	6,9 x 8,0	12,20	15,00	1,50	2,40
<b>1</b>	Fortis Extra 50	6,9 x 8,0	12,20	15,00	1,50	2,40
<b>2</b>	Fortis Extra 50	7,8 x 9,0	12,20	15,00	1,50	2,40
<b>3</b>	Fortis Extra 50	7,8 x 9,0	12,20	15,00	1,50	2,40
<b>4</b>	Fortis Extra 50	7,8 x 9,0	12,20	15,00	1,50	2,40
<b>5</b>	Fortis Extra 50	7,8 x 9,0	12,20	15,00	1,50	2,40
<b>6</b>	Fortis Extra 50	8,2 x 9,5	12,20	15,00	1,50	2,40

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.1.1 Evaluación del taco

Para la evaluación del taco se empleó la fórmula del cálculo del factor de SD, en el cual se consideran las variables de densidad de explosivo y longitud del taco final para poder determinar si se presentaría algún tipo de eyección en la voladura. Se calculó el valor de SD para cada caso, los valores se encuentran dentro de los rangos establecidos para una altura de taco que controle la energía entre 0,92 a 1,40.

**Tabla 8**

*Cálculo del Factor de SD*

N° Disparo	Explosivo	Densidad Explosivo (g/cc)	Taco Final	Factor de SD
<b>Línea Base</b>	Estándar	1,28	5,00	0,98
<b>1</b>	Fortis Extra	1,25	5,50	1,06
<b>2</b>	Fortis Extra	1,25	6,00	1,13
<b>3</b>	Fortis Extra	1,25	6,00	1,13
<b>4</b>	Fortis Extra	1,25	5,00	0,98
<b>5</b>	Fortis Extra	1,25	5,00	0,98
<b>6</b>	Fortis Extra	1,25	5,00	0,98

*Fuente:* Elaboración Propia.

### 3.1.2 Factor de rigidez

El factor de rigidez nos ayuda a determinar si los parámetros de perforación empleados (altura de banco y burden) nos van a permitir obtener buenos resultados de fragmentación en términos de distribución de energía. Se recomienda siempre que el índice de rigidez se encuentre sobre el valor de 1,50 el índice de rigidez en la línea base y las pruebas se encuentran sobre el parámetro establecido.

**Tabla 9**

*Cálculo del Factor de Rigidez*

<b>N° Disparo</b>	<b>Explosivo</b>	<b>Altura de Banco (m)</b>	<b>Burden (m)</b>	<b>Factor de Rigidez</b>
<b>Línea Base</b>	Estándar	15,00	6,90	2,17
<b>1</b>	Fortis Extra	15,00	6,90	2,17
<b>2</b>	Fortis Extra	15,00	7,80	1,92
<b>3</b>	Fortis Extra	15,00	7,80	1,92
<b>4</b>	Fortis Extra	15,00	7,80	1,92
<b>5</b>	Fortis Extra	15,00	7,80	1,92
<b>6</b>	Fortis Extra	15,00	8,20	1,83

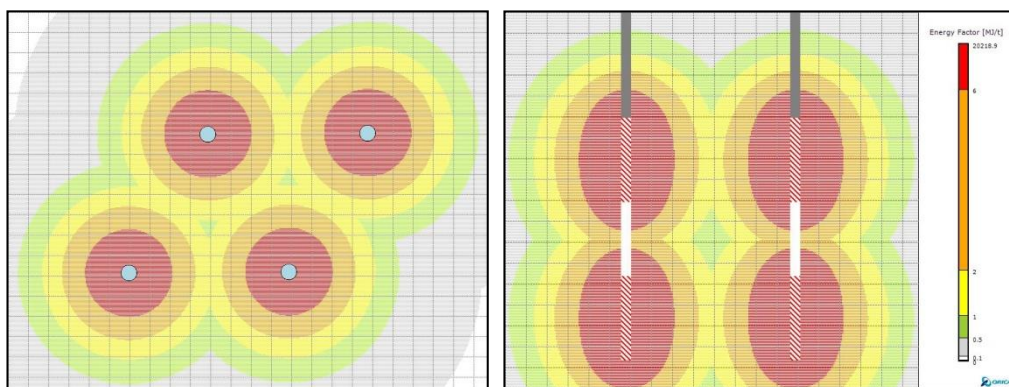
*Fuente:* Elaboración Propia.

### 3.1.3 Modelamiento con halos de energía

Para evaluar los parámetros de perforación en función al tipo de explosivo en los diferentes escenarios planteados, se realizaron simulaciones de halos de energía con el software D-Energie de Orica. El cual, en función a la energía específica del explosivo, diseño de carga, propiedades del macizo rocoso y parámetros de perforación se pueden establecer mapas de energía de planta y longitudinales, los cuales mediante la escala de energía permiten comprar diferentes configuraciones de parámetros de perforación y voladura.

**Figura 16**

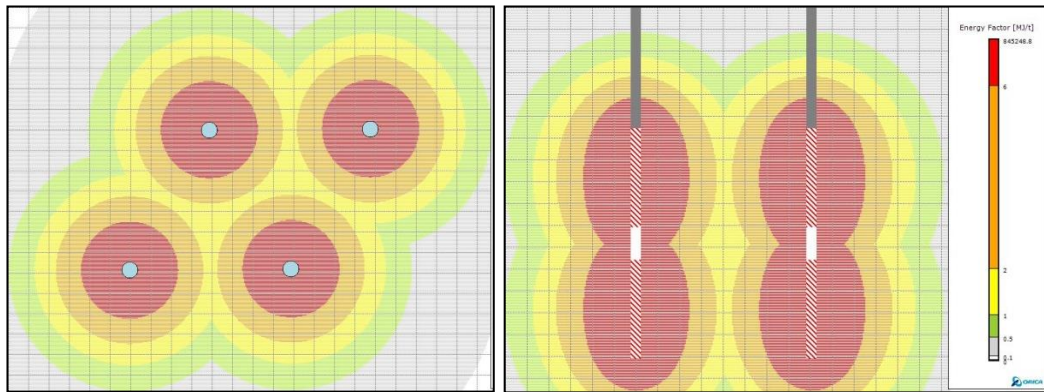
*Halos de Energía Planta y Lateral Línea Base.*



*Fuente:* Simulación con Software D-Energie de Orica

**Figura 17**

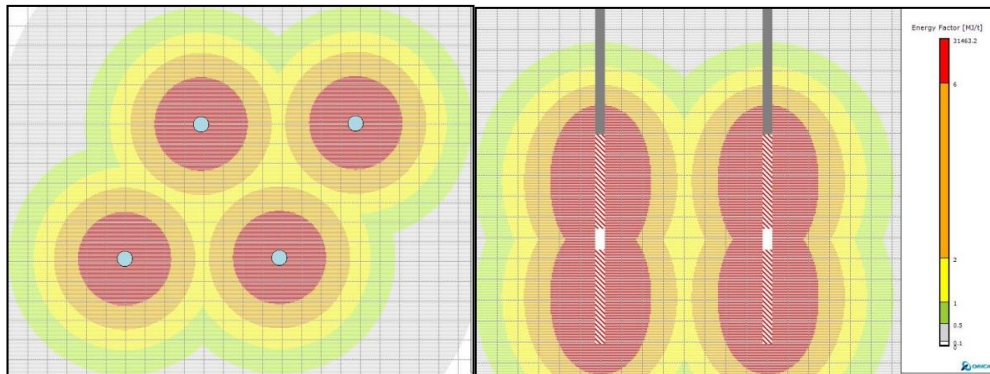
*Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 01*



*Fuente:* Simulación con Software D-Energie de Orica.

**Figura 18**

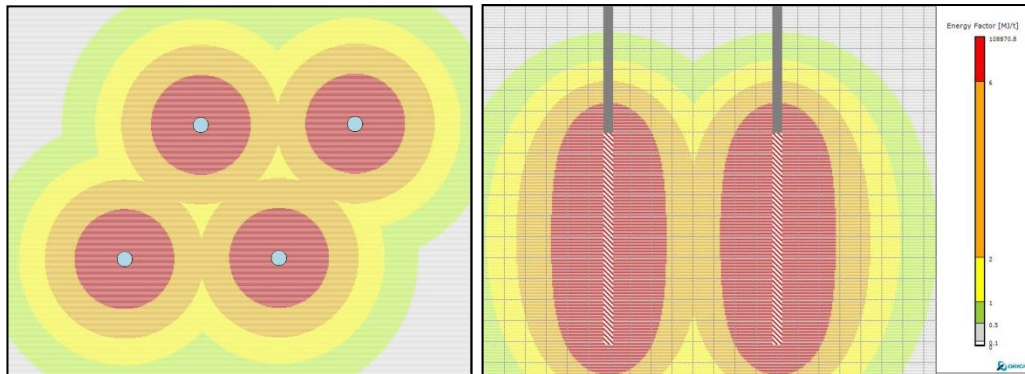
*Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 02*



*Fuente:* Simulación con Software D-Energie de Orica.

**Figura 19**

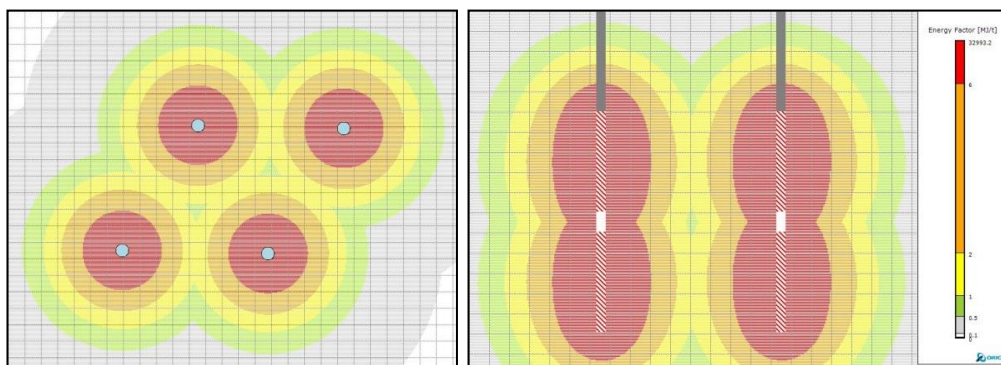
*Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 03*



*Fuente: Simulación con Software D-Energie de Orica.*

**Figura 20**

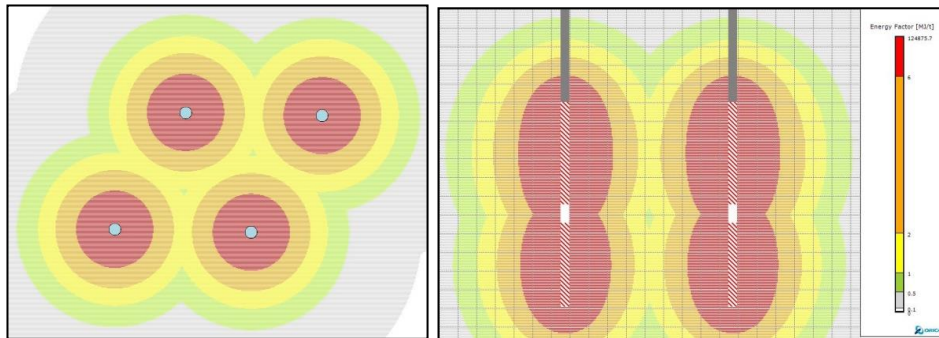
*Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 04*



*Fuente: Simulación con Software D-Energie de Orica.*

**Figura 21**

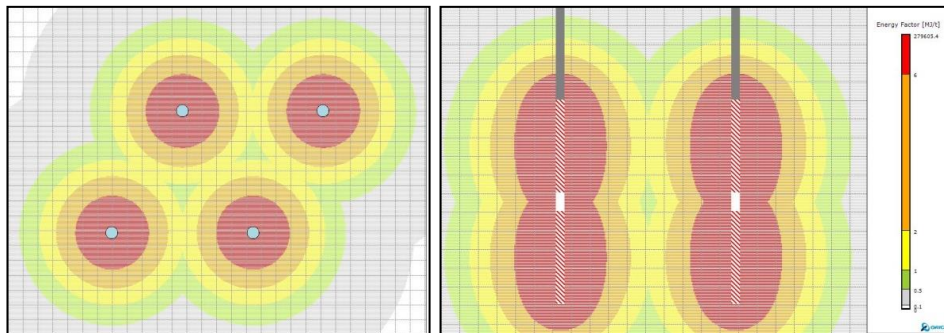
*Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 05*



*Fuente: Simulación con Software D-Energie de Orica*

**Figura 22**

*Halos de Energía Planta y Lateral - Disparo 06*



*Fuente: Simulación con Software D-Energie de Orica*

### 3.1.4 Factor de potencia

Se calculó el factor de potencia de los 06 disparos encontrándose en el rango de 0,30 kg/t. a 0,39 kg/t. se ha intentado mantener el valor del factor de carga por debajo o igual al de la línea base. Gracias a la ampliación de malla y al

mantener los kilogramos de explosivo se logró reducir el valor del factor de carga en los disparos de prueba.

**Tabla 10**

*Resumen de Factor de Potencia*

<b>N° Disparo</b>	<b>Nivel</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Malla (m x m)</b>	<b>Factor de Potencia(kg/t)</b>
<b>Línea Base</b>	3640		6,90 x 8,00	0,39
<b>1</b>	3640	618	6,90 x 8,00	0,40
<b>2</b>	3625	606	7,80 x 9,00	0,31
<b>3</b>	3625	617	7,80 x 9,00	0,35
<b>4</b>	3625	618	7,80 x 9,00	0,35
<b>5</b>	3625	632	7,80 x 9,00	0,35
<b>6</b>	3625	635	8,20 x 9,50	0,30

*Fuente: Elaboración Propia.*

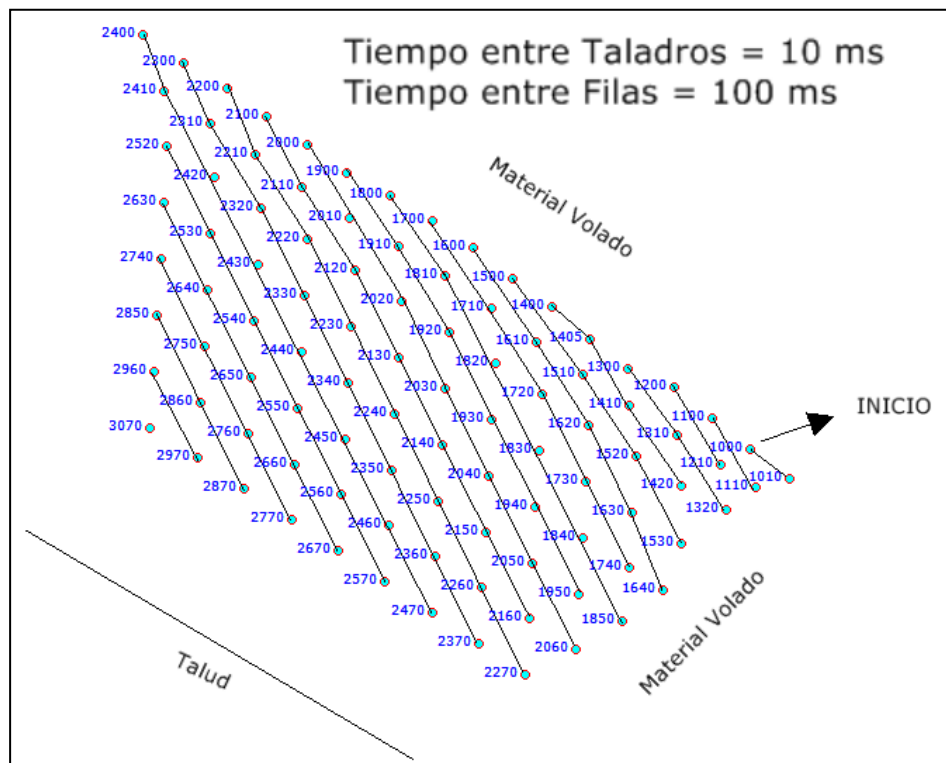
### **3.1.5 Secuencia de detonación**

Los tiempos usados habitualmente en la zona de roca traquita son de 10 ms entre taladros y 100 ms entre filas, estos tiempos están estandarizados por mina (Área Geotecnia), por lo cual no pudieron ser modificados ni optimizados para las pruebas. Las secuencias de detonación están en función a la operatividad de los equipos de acarreo, el amarre puede ser tanto en "echelon" como en "V".

Todos los disparos se realizaron con detonadores electrónicos y fueron diseñados con el software Shot Plus 5.

**Figura 23**

*Secuencia de Salida Disparo 01*

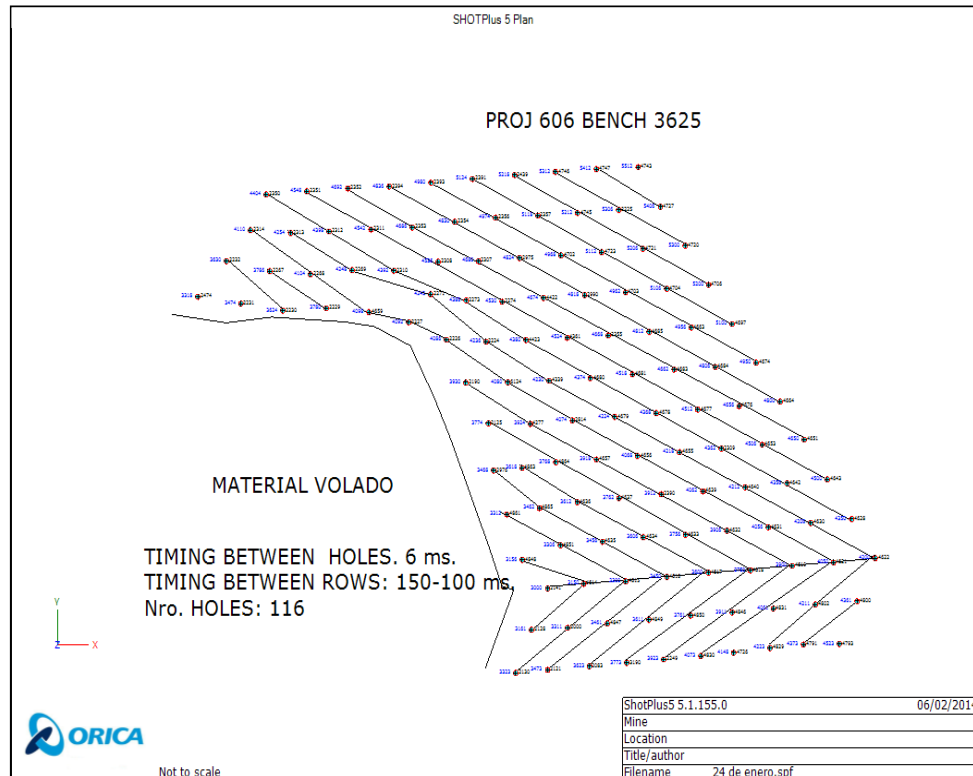


*Fuente:* Software Shot Plus 5 de Orca.

En el disparo 01 la secuencia de salida fue en diagonal, con tiempos de 10 ms entre taladro y 100 ms entre filas, la dirección del tren de ondas es hacia el talud con el punto hacia la cara libre en la cresta.

**Figura 24**

*Secuencia de Salida Disparo 02*

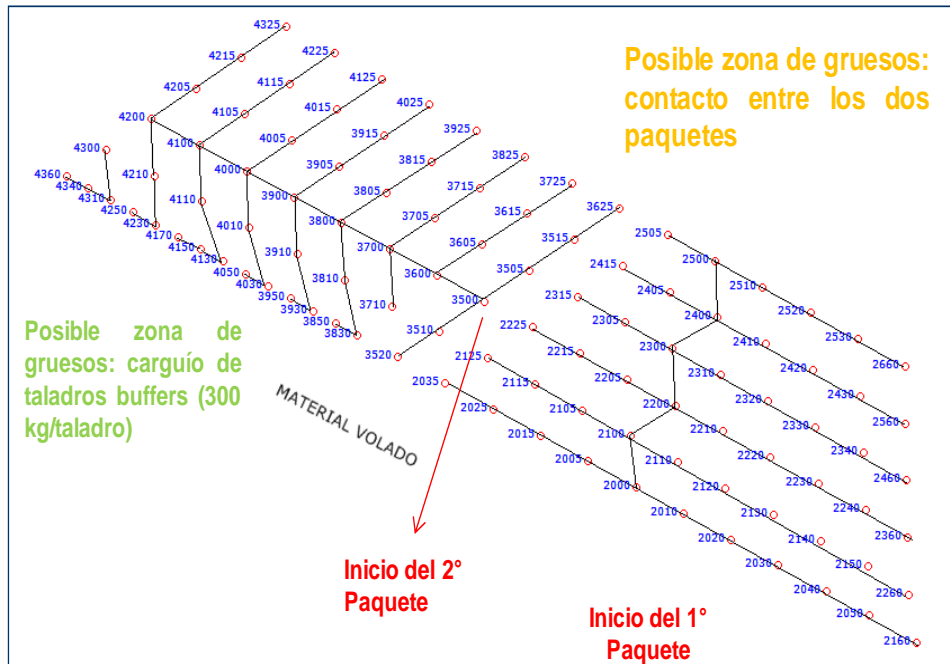


*Fuente: Software Shot Plus 5 de Orica.*

En el disparo 02 la secuencia de salida fue en V, con tiempos de 6 ms entre taladro, y 100 y 150 ms entre filas, la dirección del tren de ondas es hacia el material insitu con el punto hacia la cara libre del material volado.

**Figura 25**

*Secuencia de Salida Disparo 03*

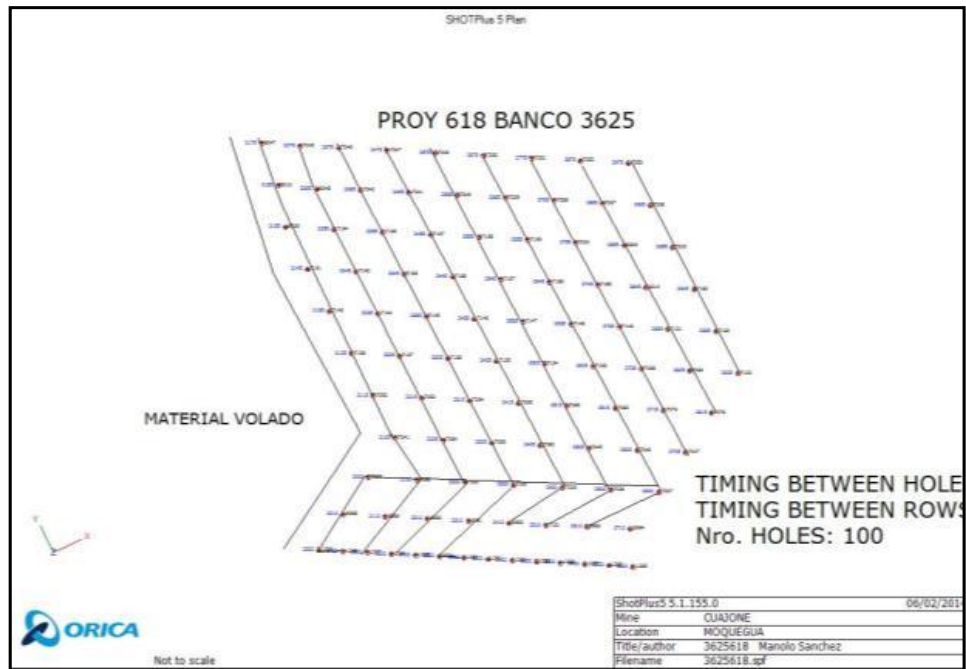


*Fuente:* Software Shot Plus 5 de Orica.

En el disparo 03 la secuencia de salida fue en V, con tiempos de 6 ms entre taladro, y 100 y 150 ms entre filas, se realizó en dos paquetes por temas operacionales de los equipos de acarreo. Este diseño de amarre puede causar zonas de incremento de la fragmentación debido a la falta de interacción de ondas entre ambos paquetes.

**Figura 26**

*Secuencia de Salida Disparo 04*

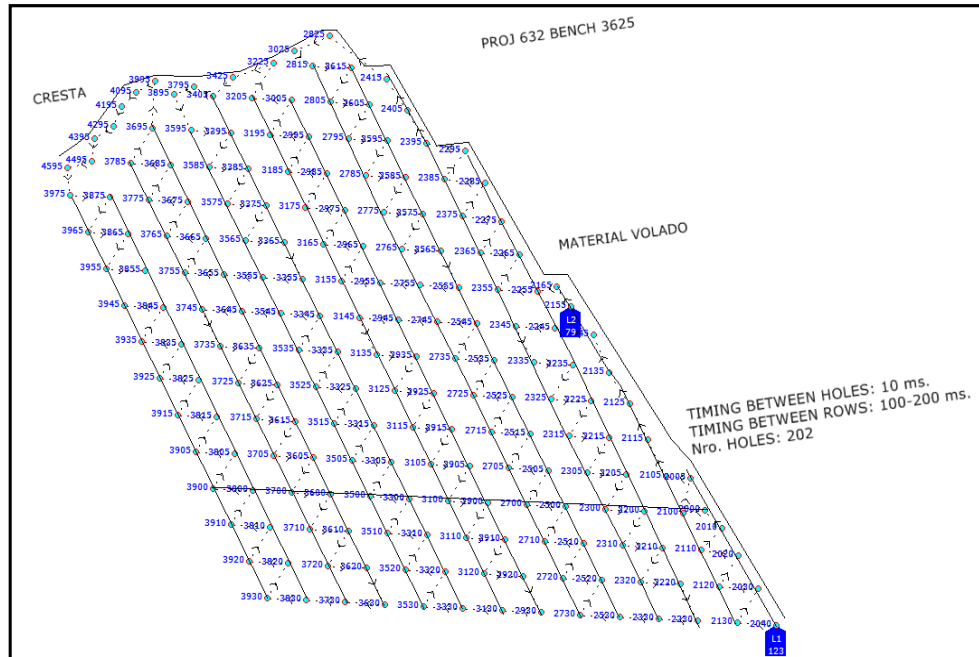


*Fuente:* Software Shot Plus 5 de Orica.

En el disparo 04 la secuencia de salida fue en V, con tiempos de 10 ms entre taladro, y 100 y 150 ms entre filas, la dirección del tren de ondas es hacia el material insitu con el punto hacia la cara libre del material volado.

Figura 27

Secuencia de Salida Disparo 05

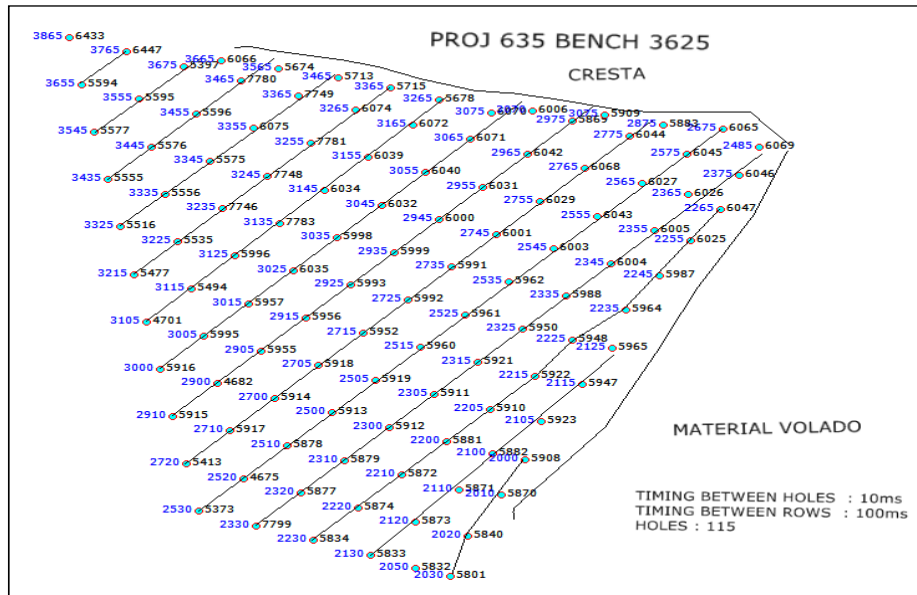


Fuente: Software Shot Plus 5 de Orica.

En el disparo 05 la secuencia de salida fue en echelon, con tiempos de 10 ms entre taladro, y 100 y 200 ms entre filas, la dirección del tren de ondas es hacia el material insitu con el punto hacia la cara libre del material volado.

Figura 28

Secuencia de Salida Disparo 06



Fuente: Software Shot Plus 5 de Orica.

En el disparo 06 la secuencia de salida fue en echelon, con tiempos de 10 ms entre taladro y 100 ms entre filas, la dirección del tren de ondas es hacia el material insitu con el punto hacia la cara libre del material volado.

#### 4.2 Control de calidad emulsión Fortis Extra y explosivo

Se realizó el control de calidad a la emulsión Fortis Extra para determinar que se encuentre dentro de los rangos establecidos por el fabricante, dentro de los controles realizados se midió su densidad de las materias primas y del producto explosivo.

#### 4.2.1 Densidad emulsión Fortis Extra

Se realizó el control de densidad de todas las cisternas donde se transportaba la emulsión Fortis Extra encontrándose dentro de los rangos establecidos por el fabricante, entre 1,34 - 1,36 g/cm<sup>3</sup> (Ver Tabla 11)

**Tabla 11**

*Densidad del Fortis Extra*

Muestra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Muestra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
1	1,352	9,000	1,352
2	1,355	10,000	1,353
3	1,353	11,000	1,355
4	1,355	12,000	1,356
5	1,349	13,000	1,355
6	1,347	14,000	1,352
7	1,345	15,000	1,353
8	1,355	16,000	1,350

*Fuente:* Elaboración Propia.

#### 4.2.2 Densidad, gasificación y temperatura Fortis Extra

El explosivo Fortis Extra 50/50 está conformado por 50 % de Emulsión Fortis Extra y 50 % de ANFO, con una

inyección de Nitrito de Sodio generando la gasificación del explosivo. Se controló la densidad inicial y final del explosivo, con una densidad inicial promedio de 1,30 gr/cm<sup>3</sup> hasta alcanzar una densidad final de 1,14 – 1,08 g/cm<sup>3</sup> gracias a la gasificación del producto. Estos valores finales de densidad fueron calculados en laboratorio previo al carguío.

**Tabla 12**

*Control de Gasificación*

Disparo	Camión	Densidad Inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Final (gr/cm <sup>3</sup> )
1	Q-27	1,300	1,105
	Q-27	1,299	1,107
	Q-34	1,289	1,115
	Q-34	1,295	1,110
2	Q-27	1,302	1,081
	Q-27	1,300	1,109
	Q-34	1,300	1,107
	Q-34	1,302	1,106
3	Q-27	1,303	1,115
	Q-27	1,300	1,139
	Q-34	1,298	1,120
	Q-34	1,297	1,121
4	Q-27	1,295	1,110
	Q-27	1,297	1,119
	Q-34	1,300	1,127
5	Q-27	1,302	1,099
	Q-34	1,301	1,111
	Q-34	1,300	1,133
6	Q-27	1,302	1,124
	Q-27	1,299	1,106
	Q-34	1,297	1,118
	Q-34	1,299	1,080

*Fuente:* Elaboración Propia.

### 4.2.3 Velocidad de detonación

Se midió un total de cinco VODs del Fortan™ Extra 50/50, se obtuvo registros dentro del rango establecido para este producto [5400-6000] m/s. Todos los monitoreos se realizaron en taladros con diámetro de 12,00 ¼ pulg.

En el primer monitoreo se registró una VOD de 5502,50 m/s para una mezcla Fortis Extra 50/50, la cual se encuentra dentro del rango establecido para este producto [5400-6000] m/s.

**Tabla 13**

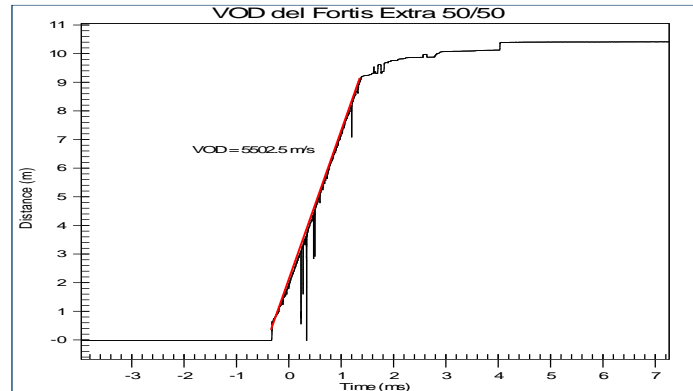
*Datos de VOD – Monitoreo 01*

<b>Datos del Taladro del VOD 01</b>	
Diámetro (pulg)	12,25
Emulsión	Fortis Extra
Nitrato de Amonio	Cachimayo
Explosivo	Fortis Extra 50
Profundidad (m)	16,00
Longitud de Carga (m)	9,50
Taco (m)	6,50
Densidad inicial del FE 50/50 (gr/cm <sup>3</sup> )	1,30
Densidad final del FE 50/50 (gr/cm <sup>3</sup> )	1,14

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 29**

*Registro de VOD - Monitoreo 01*



*Fuente:* Registro Software MREL.

En el segundo monitoreo se registró una VOD de 5621,90 m/s valor dentro del rango [5400-6000] m/s.

**Tabla 14**

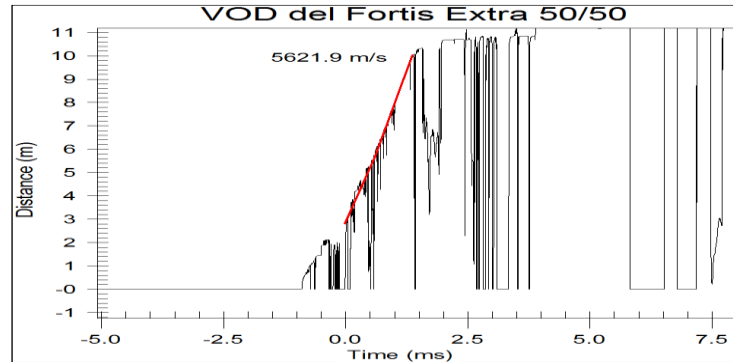
*Datos de VOD – Monitoreo 02*

<b>Datos del Taladro del VOD 02</b>	
Diámetro (pulg)	12,25
Emulsión	Fortis Extra
Nitrato de Amonio	Cachimayo
Explosivo	Fortis Extra 50
Profundidad (m)	16,00
Longitud de Carga (m)	10,00
Taco (m)	6,00
Densidad inicial del FE 50/50 (g/cm <sup>3</sup> )	1,30
Densidad final del FE 50/50 (g/cm <sup>3</sup> )	1,14

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 30**

*Registro de VOD - Monitoreo 02*



*Fuente: Registro Software MREL.*

En el tercer monitoreo se obtuvo una VOD de 5598,90 m/s valor dentro del rango [5400-6000] m/s.

**Tabla 15**

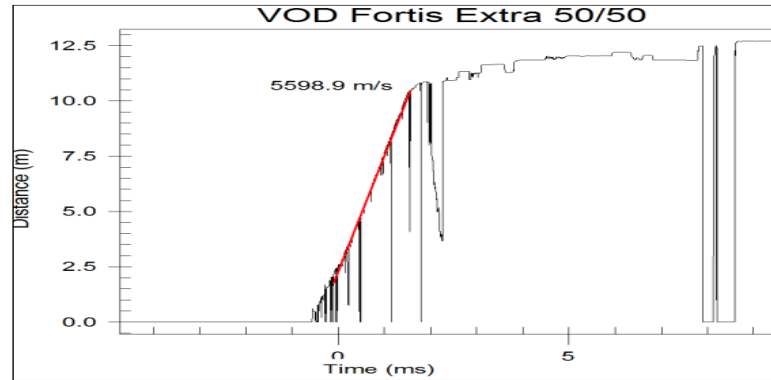
*Datos de VOD – Monitoreo 03*

<b>Datos del Taladro del VOD 03</b>	
Diámetro (pulg)	12,25
Emulsión	Fortis Extra
Nitrato de Amonio	Cachimayo
Explosivo	Fortis Extra 50
Profundidad (m)	16,00
Longitud de Carga (m)	11,00
Taco (m)	5,00
Densidad inicial del FE 50/50 (g/cm <sup>3</sup> )	1,30
Densidad final del FE 50/50 (g/cm <sup>3</sup> )	1,16

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 31**

*Registro de VOD - Monitoreo 03*



*Fuente:* Registro Software MREL.

En el cuarto monitoreo se obtuvo una VOD de 5576.50 m/s valor dentro del rango [5400-6000] m/s.

**Tabla 16**

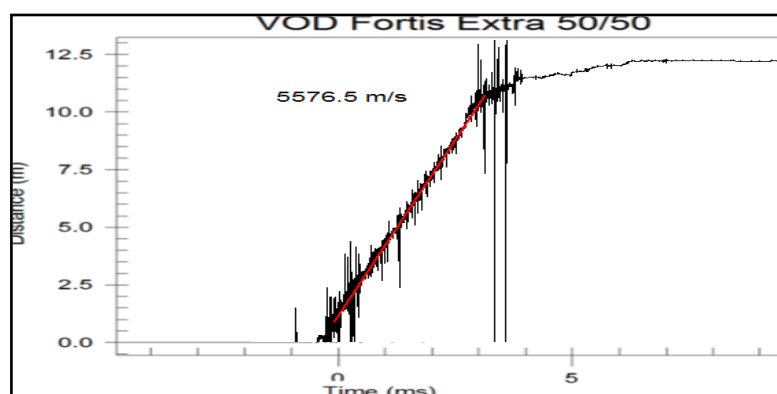
*Datos de VOD – Monitoreo 04*

<b>Datos del Taladro del VOD 04</b>	
Diámetro (pulg)	12,25
Emulsión	Fortis Extra
Nitrato de Amonio	Cachimayo
Explosivo	Fortis Extra 50
Profundidad (m)	16,00
Longitud de Carga (m)	9,50
Taco (m)	6,50
Densidad inicial del FE 50/50 (g/cm <sup>3</sup> )	1,30
Densidad final del FE 50/50 (g/cm <sup>3</sup> )	1,14

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 32**

*Registro de VOD - Monitoreo 04*



*Fuente: Registro Software MREL.*

En el quinto monitoreo se obtuvo una VOD de 5548,60 m/s valor dentro del rango [5400-6000] m/s.

**Tabla 17**

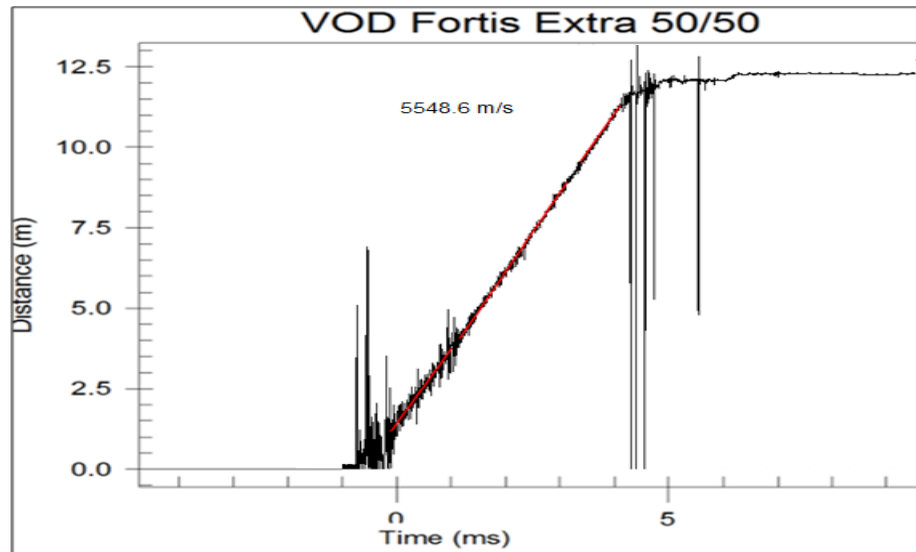
*Datos de VOD – Monitoreo 05*

<b>Datos del Taladro del VOD 05</b>	
Diámetro (pulg)	12,25
Emulsión	Fortis Extra
Nitrato de Amonio	Cachimayo
Explosivo	Fortan Extra 50/50
Profundidad (m)	16,00
Longitud de Carga (m)	11,00
Taco (m)	5,00
Densidad inicial del FE 50/50 (g/cm <sup>3</sup> )	1,30
Densidad final del FE 50/50 (g/cm <sup>3</sup> )	1,15

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 33**

*Registro de VOD - Monitoreo 05*



*Fuente: Registro Software MREL.*

Se registró un total de 05 monitoreos de velocidad de detonación todos los monitoreos se encontraban dentro del rango establecido para este producto [5400-6000] m/s.

### **4.3 Análisis de fragmentación**

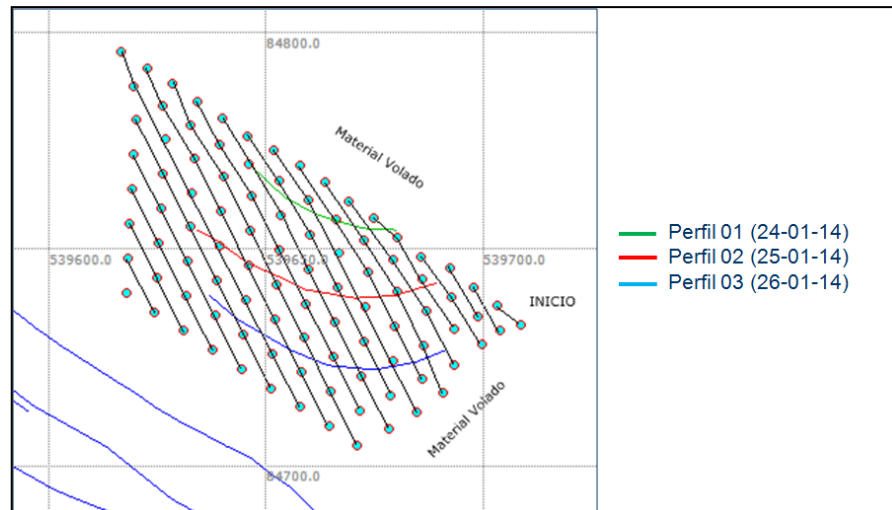
Se realizó análisis de fragmentación en todas las voladuras de prueba, también se realizó un levantamiento de línea base de fragmentación a las voladuras donde se empleó el explosivo con emulsión estándar usado en mina para poder comparar los resultados.

#### 4.3.1 Análisis de fragmentación Nv.3460 618 - disparo 01

Como se observa en la Figura 34 para determinar el P80 del disparo Nv.3460 618, se realizó el análisis de fragmentación en 03 perfiles durante 03 días en frente de minado, de cada perfil se pudo obtener un P80, un índice de uniformidad y tamaño característico (Ver Tabla 18), obteniendo un P80 promedio de 8,00 Pulg. En la Figura 35 se puede observar la curva de distribución granulométrica promedio de los 03 perfiles analizados.

**Figura 34**

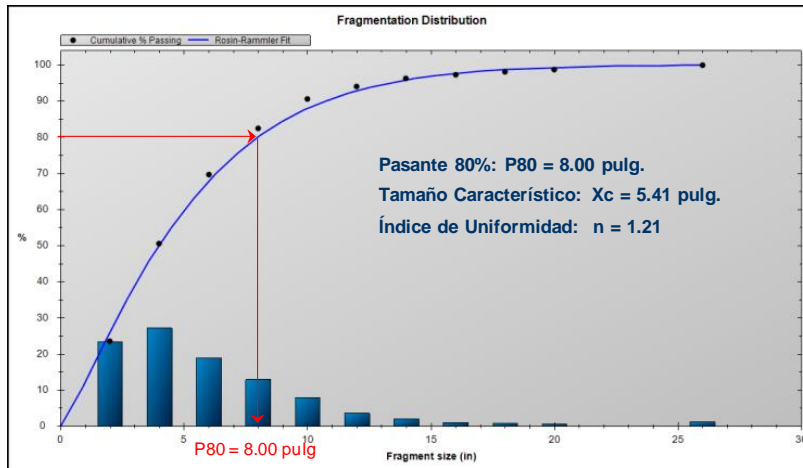
*Perfiles de Fragmentación - Disparo 01*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 35**

*Curva Granulométrica - Disparo 01*



Fuente: Software Power Sieve 3 - Orica.

**Tabla 18**

*Resumen de Fragmentación - Disparo 01*

Perfil	Proyecto	Tamaño Característico (m.)	Índice de Uniformidad	Material Pasante al 80% "P80" (Pulg.)
1	3640-618	4,63	1,26	6,75
2	3640-618	5,15	1,40	7,24
3	3640-618	6,22	1,29	8,98

Fuente: Elaboración Propia.

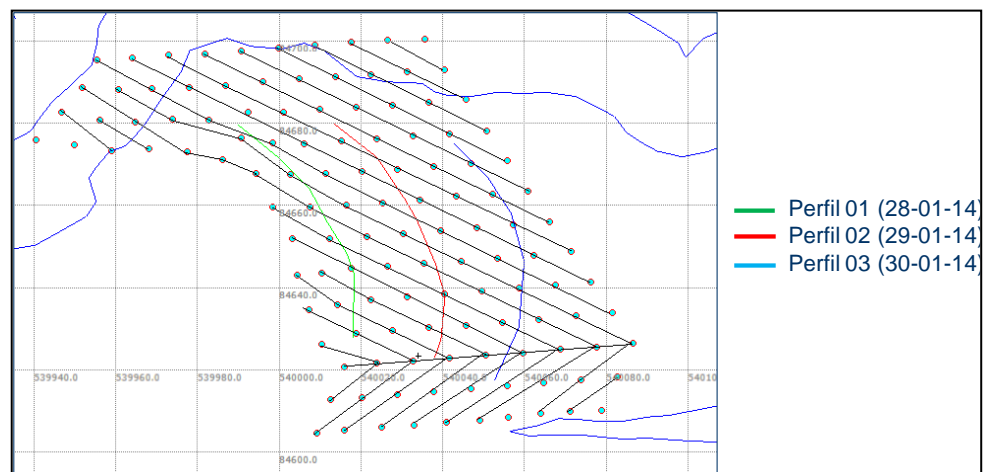
#### **4.3.2 Análisis de fragmentación Nv.3425 606 - disparo 02**

Como se observa en la Figura 36 para determinar el P80 del disparo Nv.3425 606 se realizó el análisis de fragmentación en 03 perfiles durante 03 días en frente de

minado, de cada perfil se pudo obtener un P80, un índice de uniformidad y tamaño característico (Ver Tabla 19), obteniendo un P80 promedio de 8,16 Pulg. En la Figura 37 se puede observar la curva de distribución granulométrica promedio de los 03 perfiles analizados.

**Figura 36**

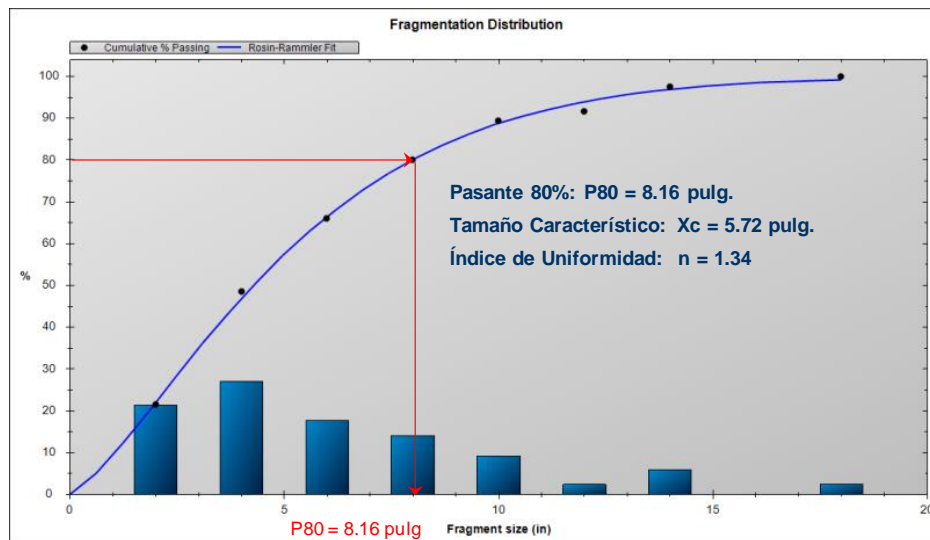
*Perfiles de Fragmentación - Disparo 02*



*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 37**

*Curva Granulométrica - Disparo 02*



Fuente: Software Power Sieve 3 – Orica.

**Tabla 19**

*Resumen de Fragmentación - Disparo 02*

Perfil	Proyecto	Tamaño Característico (m.)	Índice de Uniformidad	Material Pasante al 80% "P80" (Pulg.)
1	3625-606	6,30	1,41	8,83
2	3625-606	5,72	1,27	8,31
3	3625-606	5,04	1,46	6,98

Fuente: *Elaboración Propia.*

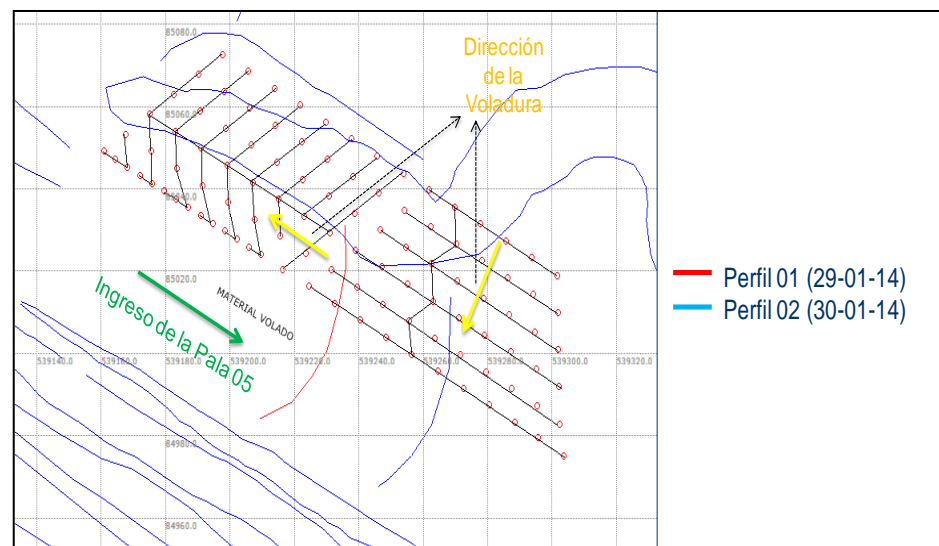
### 4.3.3 Análisis de fragmentación Nv.3425 617 - disparo 03

Como se observa en la Figura 38 para determinar el P80 del disparo Nv.3425 617 se realizó en 02 días de análisis

en frente de minado. Del análisis de fragmentación del disparo 03 realizado con Fortis Extra 50, se obtuvo un P80 promedio de 10,40 Pulg. con un tamaño característico de 7,23 Pulg y un índice de uniformidad de 1,31 (ver Figura 39).

**Figura 38**

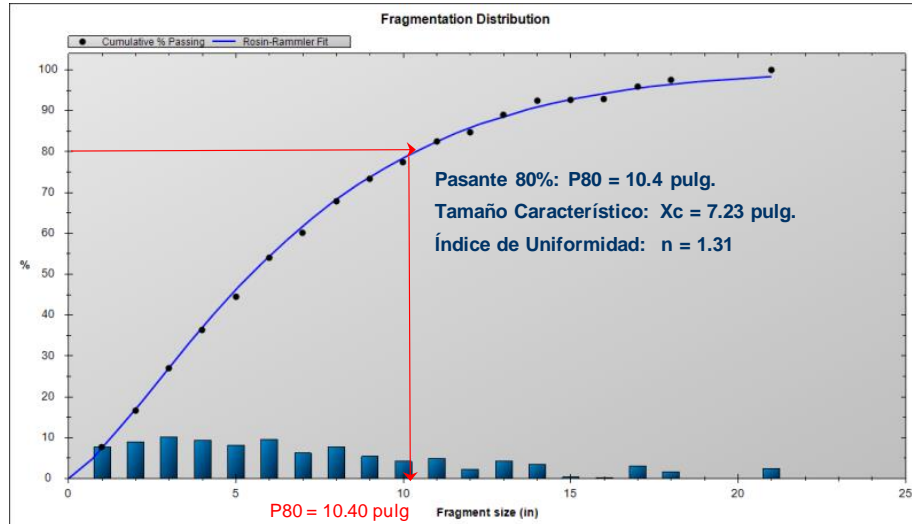
*Perfiles de Fragmentación - Disparo 03*



*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 39**

*Curva Granulométrica - Disparo 03*



Fuente: Software Power Sieve 3 – Orica.

**Tabla 20**

*Resumen de Fragmentación - Disparo 03*

Perfil	Proyecto	Tamaño Característico (m.)	Índice de Uniformidad	Material Pasante al 80% "P80" (Pulg.)
1	3625-617	8,25	1,36	11,70
2	3625-617	6,58	1,26	9,59

Fuente: Elaboración Propia.

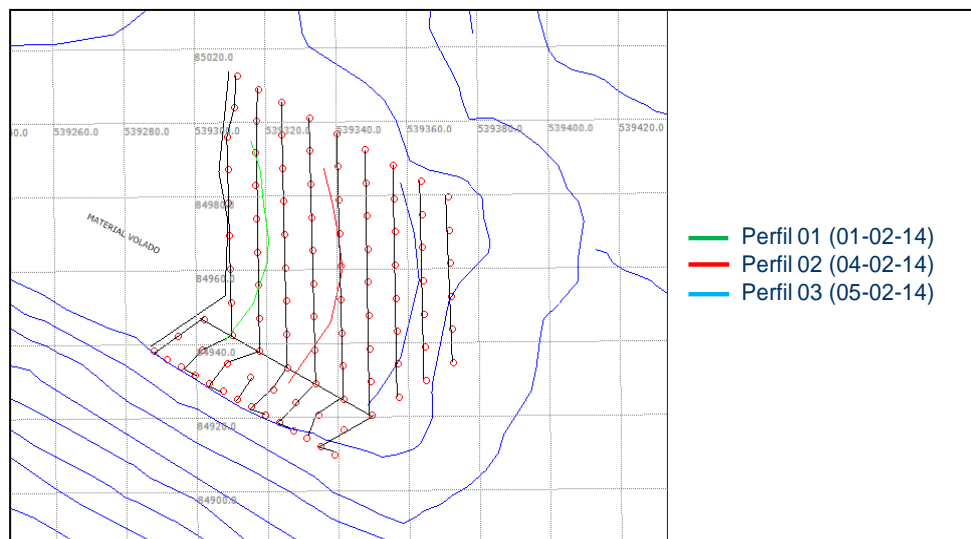
#### 4.3.4 Análisis de fragmentación Nv.3425 618 - disparo 04.

Como se observa en la Figura 40 para determinar el P80 del disparo Nv.3425 618 se realizó el análisis de

fragmentación en 03 perfiles durante 03 días en frente de minado, de cada perfil se pudo obtener un P80, un índice de uniformidad y tamaño característico (Ver Tabla 21), obteniendo un P80 promedio de 9,30 Pulg. En la Figura 41 se puede observar la curva de distribución granulométrica promedio de los 03 perfiles analizados.

**Figura 40**

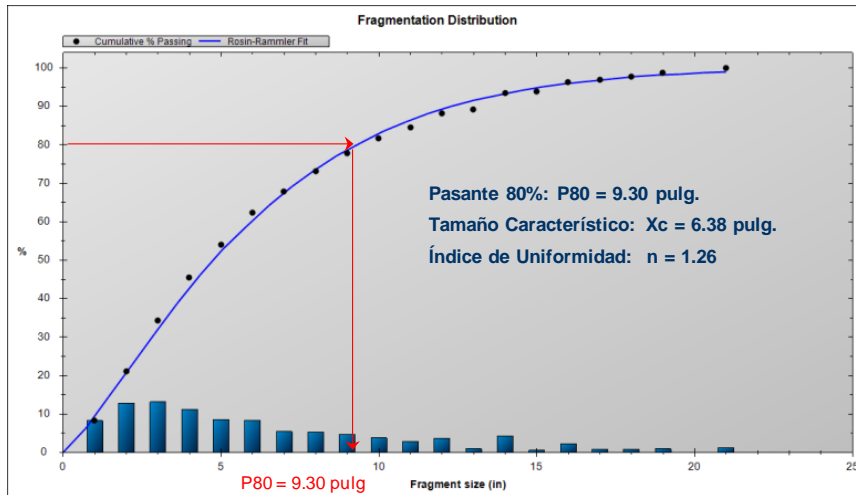
*Perfiles de Fragmentación - Disparo 04*



*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 41**

*Curva Granulométrica - Disparo 04*



Fuente: Software Power Sieve 3 – Orica

**Tabla 21**

*Resumen de Fragmentación - Disparo 04*

Perfil	Proyecto	Tamaño Característico (m.)	Índice de Uniformidad	Material Pasante al 80% "P80" (Pulg.)
1	3625-618	4,71	1,15	7,11
2	3625-618	7,05	1,21	10,40
3	3625-618	6,39	1,37	9,05

Fuente: Elaboración Propia.

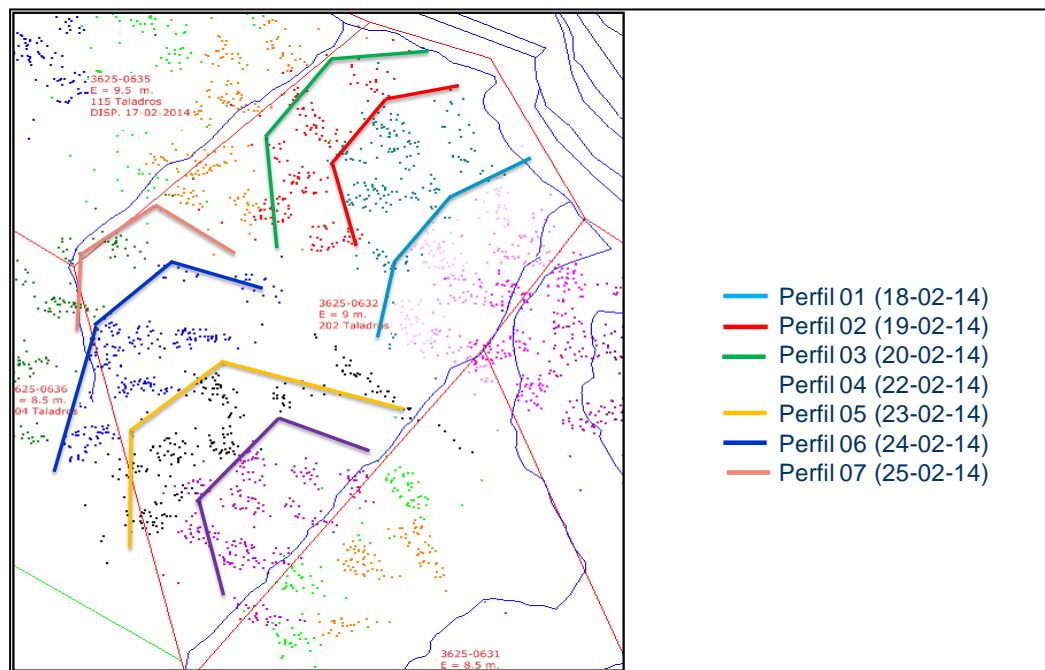
### 4.3.5 Análisis de fragmentación Nv.3425 632 - disparo 05.

Como se observa en la Figura 42 para determinar el P80 del disparo Nv.3425 632 se realizó en 07 días de análisis

en frente de minado. Del análisis de fragmentación del disparo 05 realizado con Fortis Extra 50, se obtuvo un P80 promedio de 8,45 Pulg. con un tamaño característico de 5,97 Pulg. y un índice de uniformidad de 1,37.

**Figura 42**

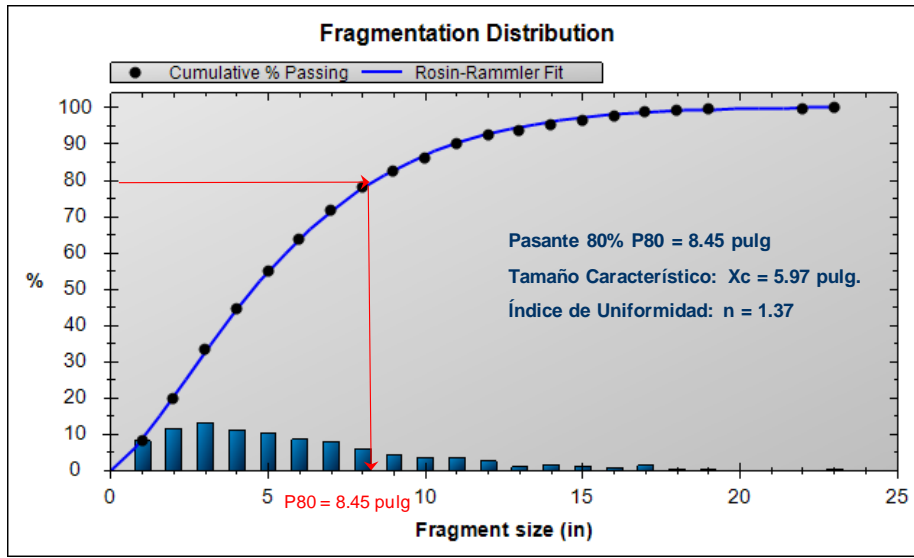
*Perfiles de Fragmentación - Disparo 05*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 43**

*Curva Granulométrica - Disparo 05*



*Fuente:* Software Power Sieve 3 – Orica

**Tabla 22**

*Resumen de Fragmentación - Disparo 05*

Perfil	Proyecto	Tamaño Característico (m.)	Índice de Uniformidad	Material Pasante al 80% "P80" (Pulg.)
1	3625-632	4,78	1,27	6,96
2	3625-632	5,20	1,33	7,44
3	3625-632	6,74	1,63	9,02
4	3625-632	8,01	1,41	11,20
5	3625-632	4,90	1,47	6,78
6	3625-632	6,33	1,50	8,70
7	3625-632	5,97	1,47	8,45

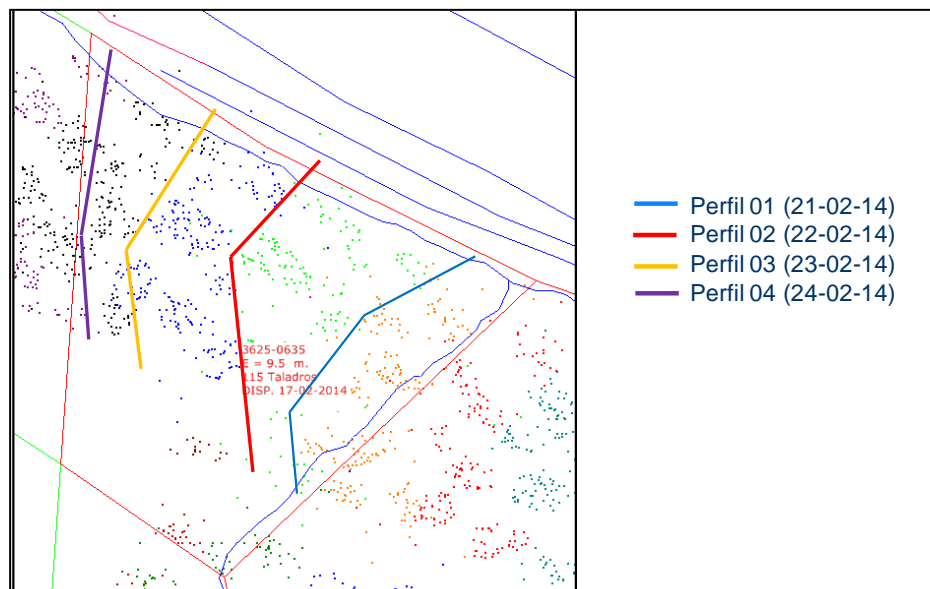
*Fuente:* Elaboración Propia.

#### 4.3.6 Análisis de fragmentación Nv.3425 635 - disparo 06

Como se observa en la Figura 44 para determinar el P80 del disparo Nv.3425 635 se realizó en 04 días de análisis en frente de minado. Del análisis de fragmentación del disparo 06 realizado con Fortis Extra 50, se obtuvo un P80 promedio de 10,30 Pulg. con un tamaño característico de 7,64 Pulg. y un índice de uniformidad de 1,61.

**Figura 44**

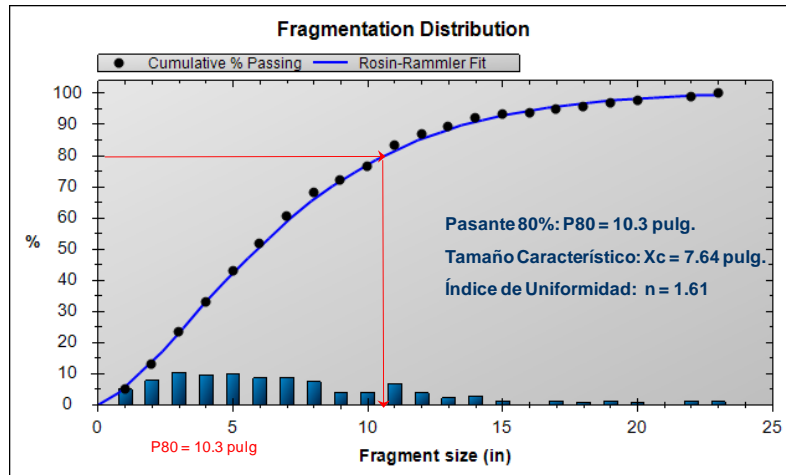
*Perfiles de Fragmentación - Disparo 06*



*Fuente:* Elaboración Propia

**Figura 45**

*Curva Granulométrica - Disparo 06*



*Fuente:* Software Power Sieve 3 – Orica

**Tabla 23**

*Resumen de Fragmentación - Disparo 06*

Perfil	Proyecto	Tamaño Característico (m.)	Índice de Uniformidad	Material Pasante al 80% "P80" (Pulg.)
1	3625-635	7,64	1,61	10,30
2	3625-635	5,97	1,66	7,96
3	3625-635	8,09	1,41	11,30
4	3625-635	8,45	1,20	12,60

*Fuente:* Elaboración Propia.

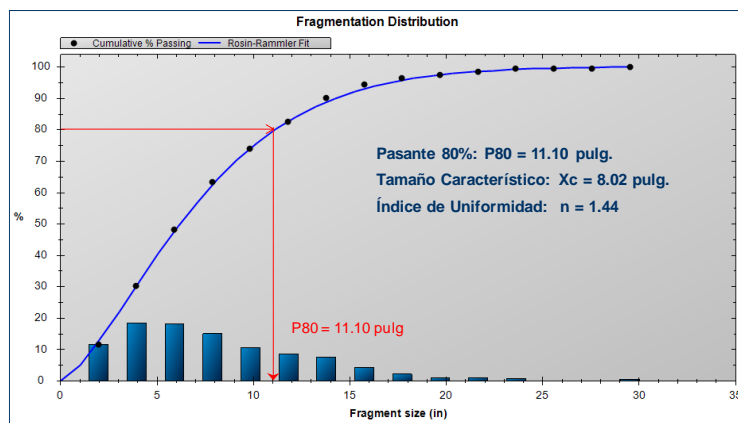
#### 4.3.7 Línea base de fragmentación.

Se tomó como línea base para la comparar los resultados de fragmentación al Nivel 3460, nivel superior de

donde se realizaron las pruebas con emulsión Fortis Extra. Del análisis de fragmentación de la línea base realizada en el banco 3640, se obtuvo un P80 promedio de 11,10 Pulg. con un tamaño característico de 8,02 Pulg. y un índice de uniformidad de 1,44.

**Figura 46**

*Curva Granulométrica – Línea Base*



Fuente: Software Power Sieve 3 – Orica

**Tabla 24**

*Resumen de Fragmentación – Línea Base*

Perfil	Proyecto	Tamaño Característico (m.)	Índice de Uniformidad	Material Pasante al 80% "P80" (Pulg.)
1	3460-607	8,25	1,57	11,20
2	3640-613	6,77	1,59	9,15
3	3640-640	9,00	1,35	13,80
4	3640-639	8,65	1,51	11,80

Fuente: Elaboración Propia.

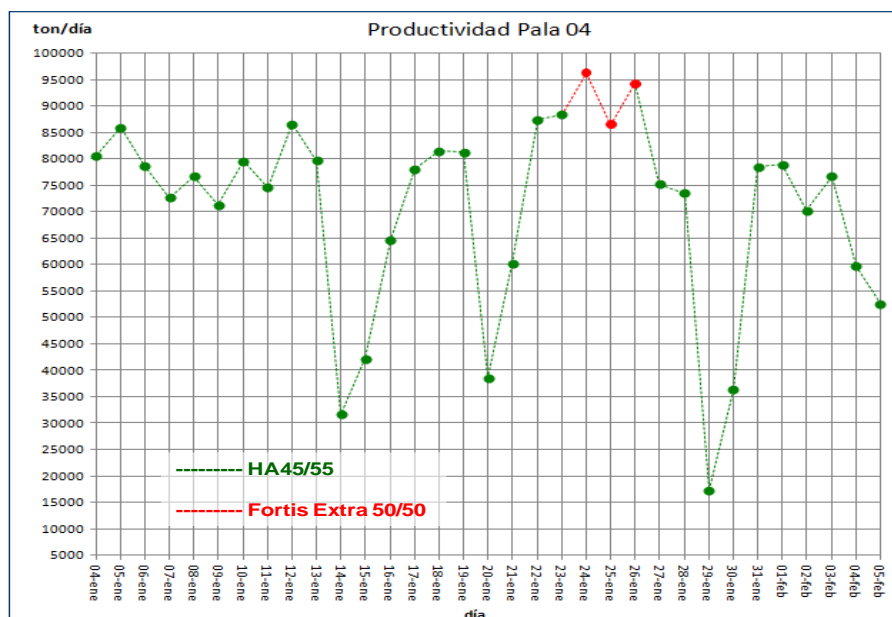
## 4.4 Tonelaje, rendimiento y velocidad de excavación

### 4.4.1 Nv.3460 628 - disparo 01.

La Pala 04 minó el disparó realizado con Fortis Extra 50 los días 24, 25 y 26 de enero, el promedio de tonelaje de la Pala 04 se incrementó de 80 185,00 ton/día con HA-45/55 a 92 312 ton/día con Fortis Extra 50/50, esto representa un incremento del 15,10 %. Para el cálculo de los promedios se consideró los valores representativos (> 75 000 ton/día).

Figura 47

Tonelaje - Disparo 01

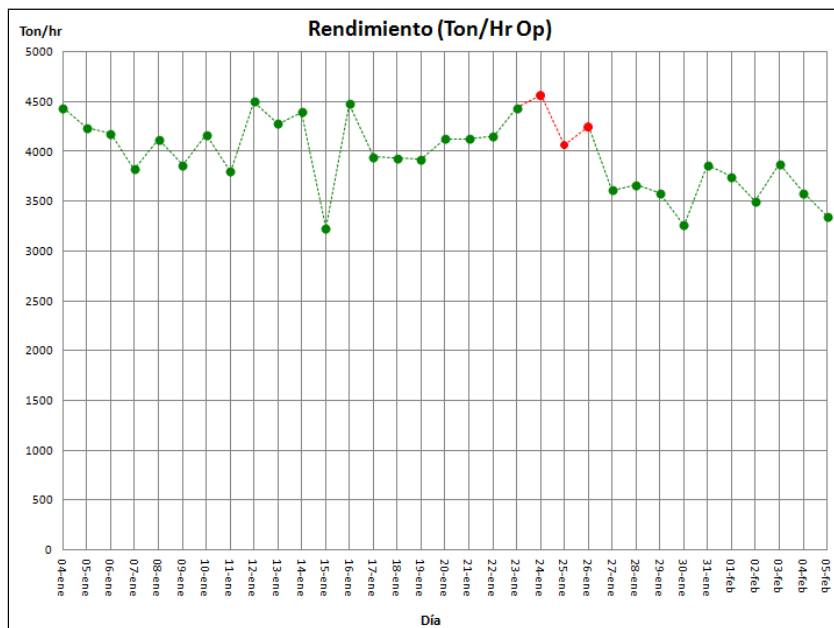


Fuente: Dispatch.

Según la Figura 48 el promedio de rendimiento de la Pala 04, se incrementó de 3 938,00 ton/h-op con HA-45/55 a 4 292,00 ton/h-op con Fortis Extra 50, esto representa un incremento del 9,00 %.

**Figura 48**

*Rendimiento – Disparo 01*

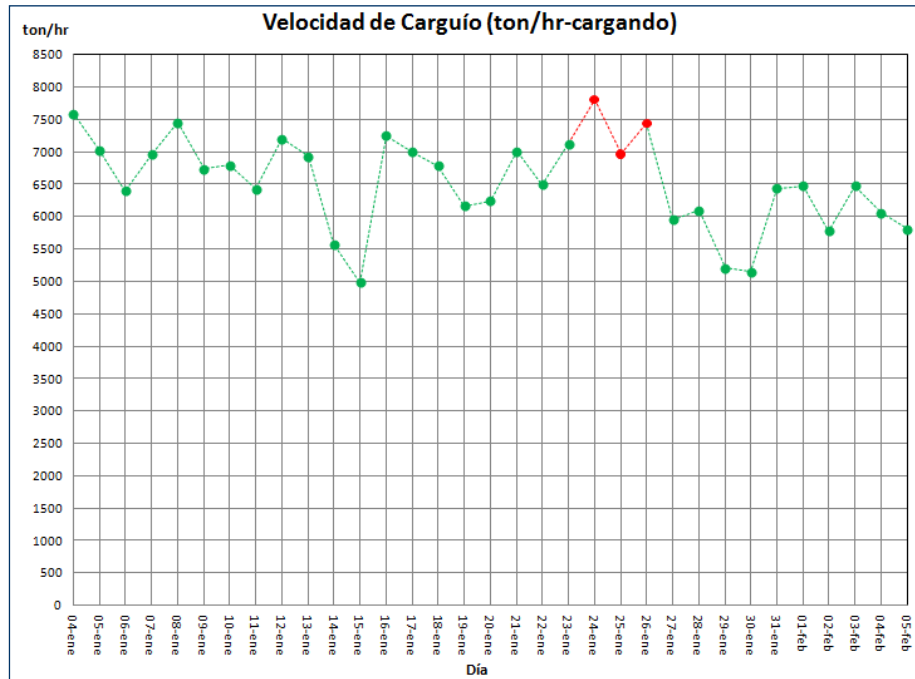


*Fuente:* Dispatch.

Según la Figura 49 el promedio de la velocidad de carguío de la Pala 04, se incrementó de 6 451,00 ton/h-cargando con HA-45/55 a 7 403,00 ton/h- cargando con Fortis™ Extra 50/50, esto representa un incremento del 14,80 %.

**Figura 49**

*Velocidad de Carguío – Disparo 0*



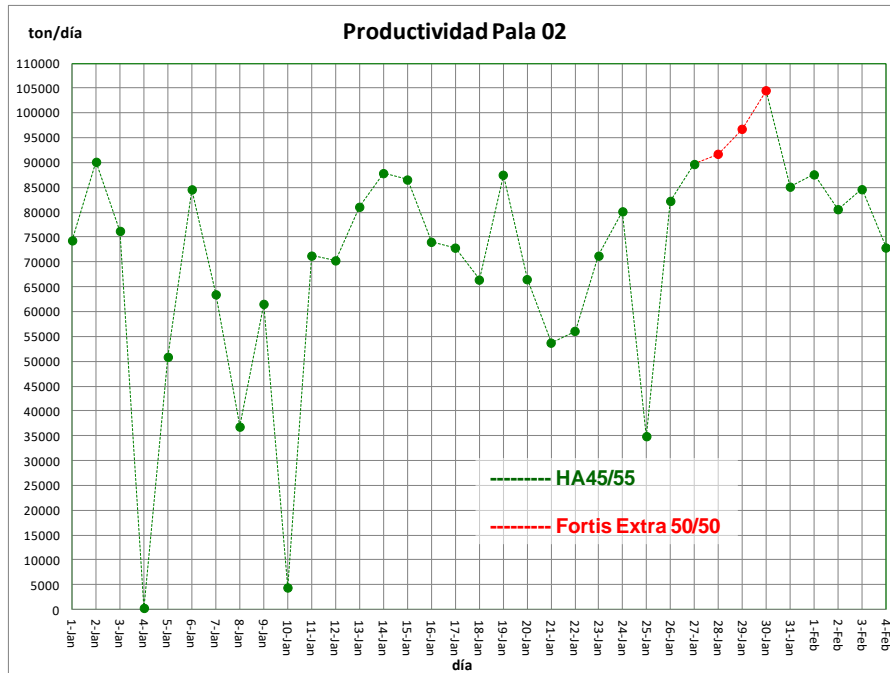
*Fuente:* Dispatch.

#### **4.4.2 Nv.3425 606 - disparo 02**

La Pala 02 minó el disparó realizado con Fortis Extra 50 los días 28, 29 y 30 de enero. El promedio de tonelaje de la Pala 02, se incrementó de 84 603,00 ton/día con HA-45/55 a 97 655,00 ton/día con Fortan™ Extra 50/50, esto representa un incremento del 15,40 %. Para el cálculo de los promedios se consideró los valores representativos (> 75 000,00 ton/día).

**Figura 50**

*Tonelaje – Disparo 02*

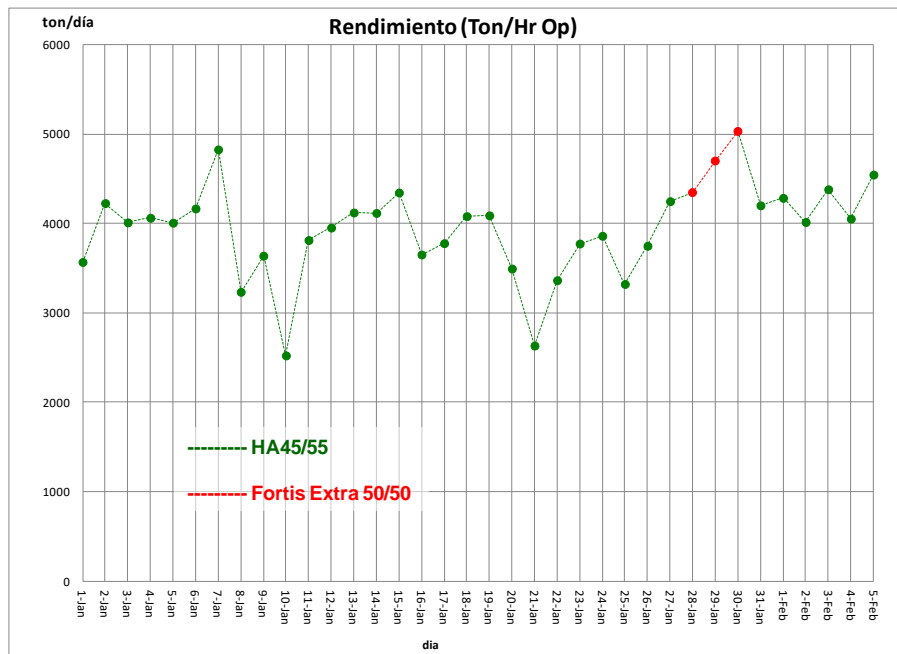


*Fuente:* Dispatch.

El promedio de rendimiento de la Pala 02, se incrementó de 3 883,00 ton/h-op con HA-45/55 a 4 692,00 ton/h-op con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 20,80 %.

**Figura 51**

*Rendimiento – Disparo 02*

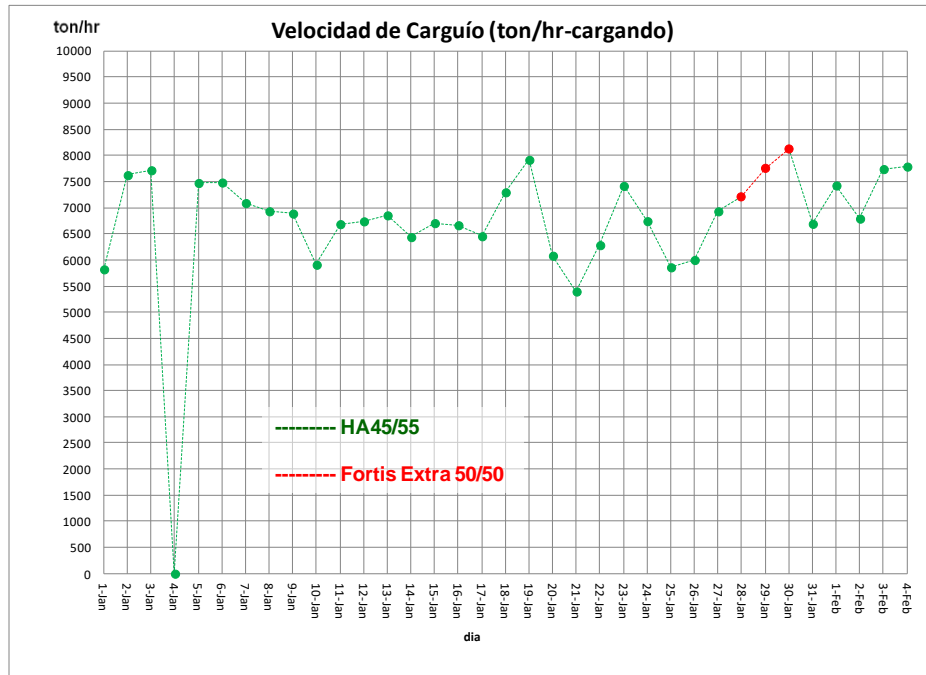


*Fuente:* Dispach.

El promedio de la velocidad de carguío de la Pala 04, se incrementó de 6 837,00 ton/h-op con HA-45/55 a 7 700,00 ton/h-op con Fortis Extra 50 representa un incremento del 12,60 %.

**Figura 52**

*Velocidad de Carguío – Disparo 02.*



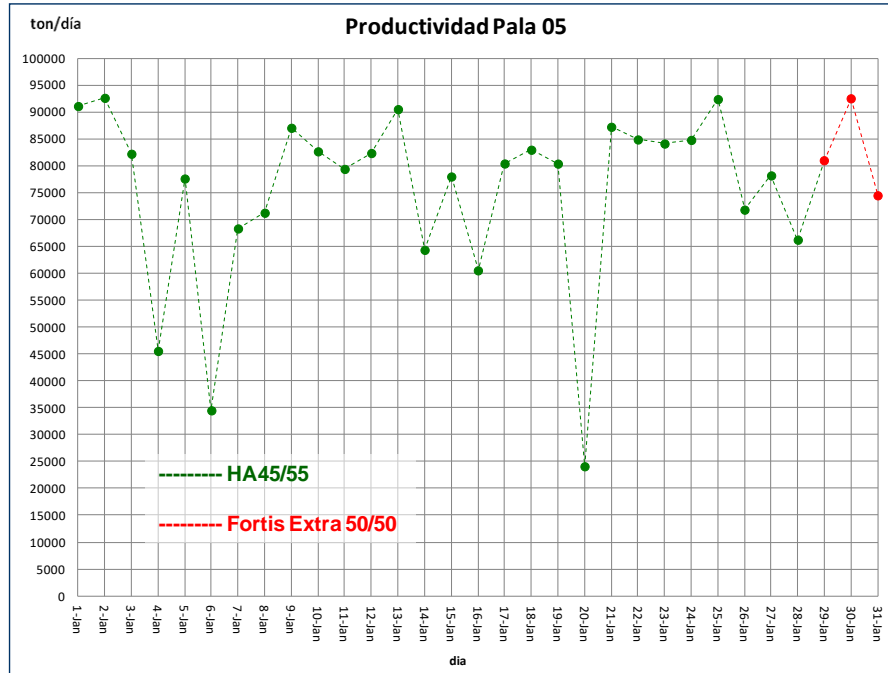
*Fuente:* Dispatch.

#### **4.4.3 NV.3425 617 - disparo 03**

El promedio de tonelaje de la Pala 05, se incrementó de 80 057,00 ton/día con HA-45/55 a 82 543,00 ton/día con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 3,11 %.

**Figura 53**

*Tonelaje – Disparo 03*

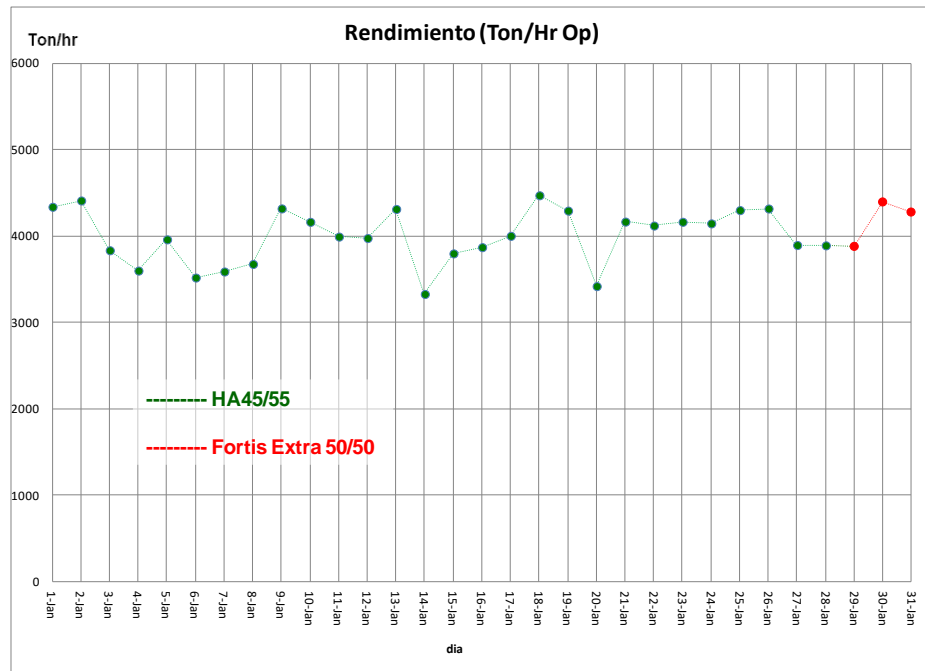


Fuente: Dispatch.

El promedio de rendimiento de la Pala 05, se incrementó de 3 994,00 ton/h-op con HA-45/55 a 4 181,00 ton/h-op con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 4,68 %.

**Figura 54**

*Rendimiento – Disparo 03*

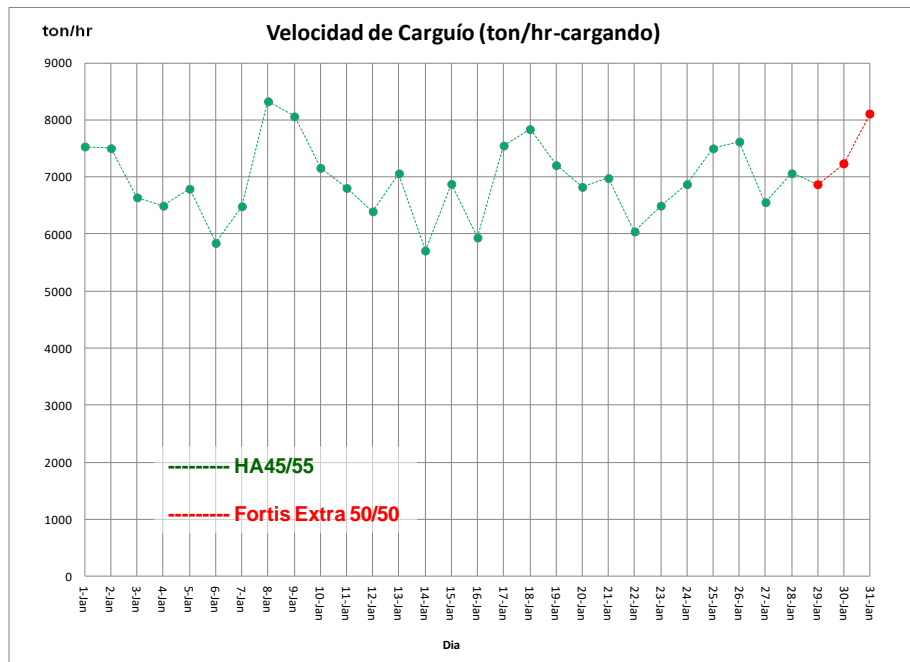


*Fuente:* Dispatch.

El promedio de velocidad de carguío de la Pala 05, se incrementó de 6 936,00 ton/h-op con HA-45/55 a 7 401,00 ton/h-op con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 6,70 %.

**Figura 55**

*Velocidad de Carguío– Disparo 03*



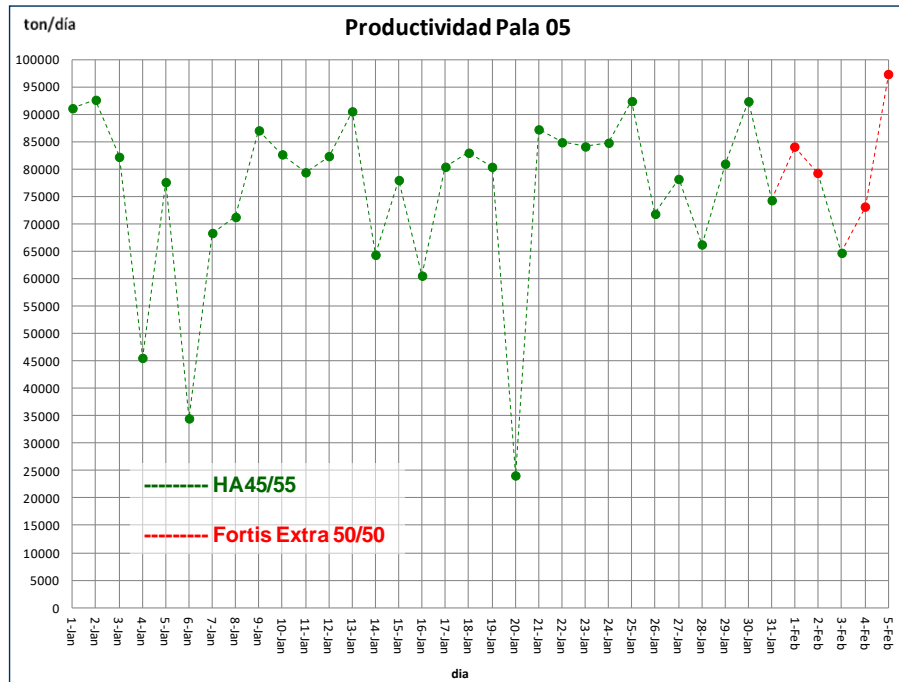
Fuente: Dispatch.

#### 4.4.4 Nv.3425 618 - disparo 04

La Pala 05 minó el disparó realizado con Fortis Extra 50 los días 01, 02, 04 y 05 de febrero. El promedio del tonelaje de la Pala 05, se incrementó de 79 467,00 ton/día con HA-45/55 a 83 352,00 ton/día con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 4,80 %.

Figura 56

Tonelaje – Disparo 04

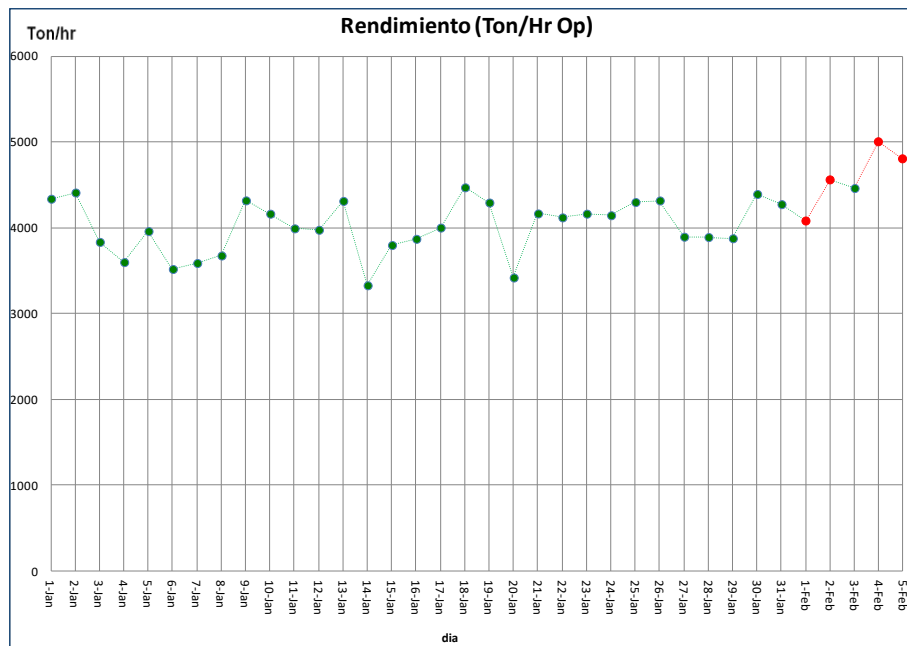


Fuente: Dispatch.

El promedio de rendimiento de la Pala 05, se incrementó de 4 010,00 ton/h-op con HA-45/55 a 4 612,00 ton/h-op con Fortan™ Extra 50/50 esto representa un incremento del 15,00 %.

**Figura 57**

*Rendimiento – Disparo 04*

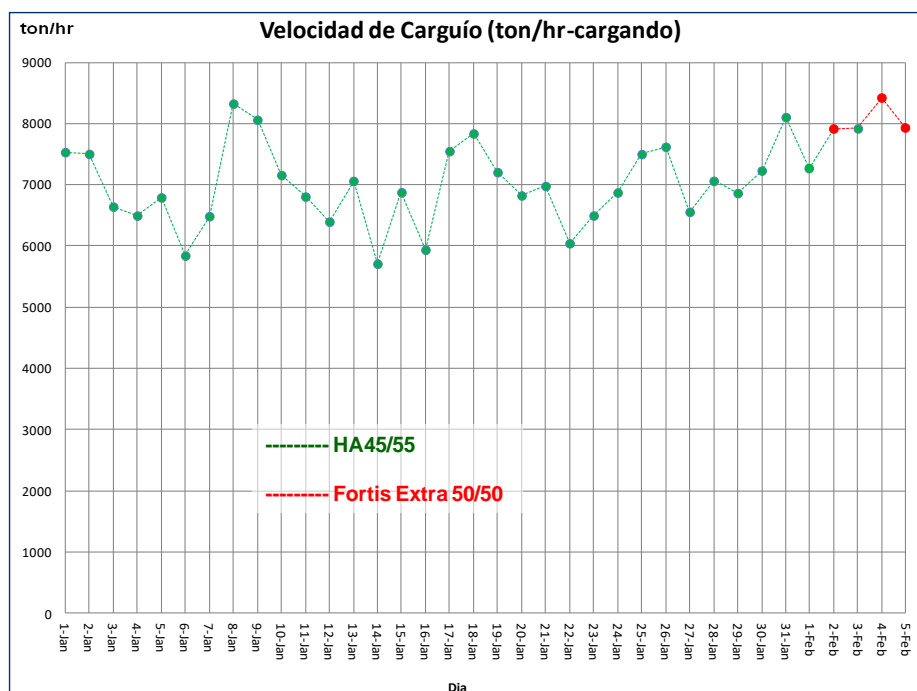


*Fuente: Dispatch.*

El promedio de la velocidad de carguío, se incrementó de 6 970,00 ton/h-op con HA-45/55 a 7 880,00 ton/h-op con Fortis Extra 50 representado un incremento del 13,10 %.

**Figura 58**

*Velocidad de Carguío – Disparo 04*



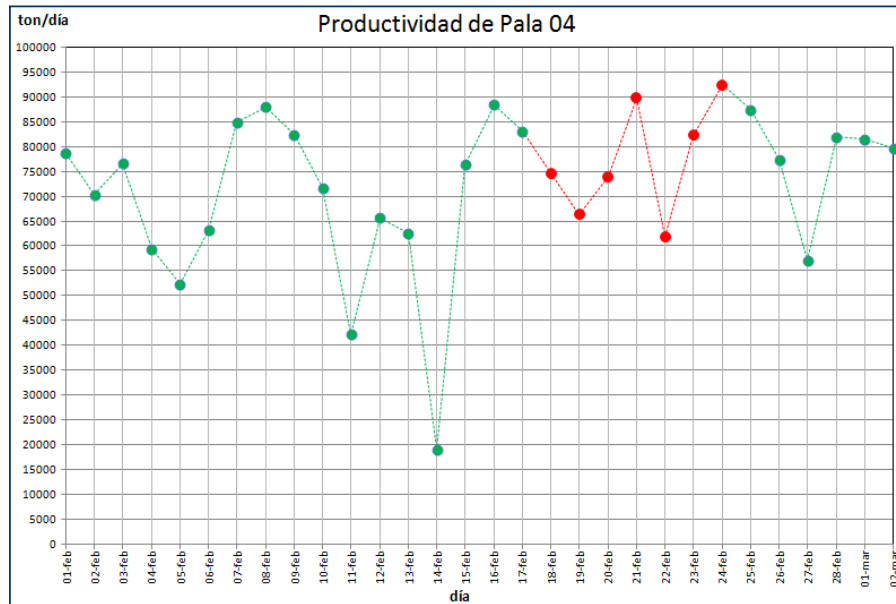
Fuente: Dispatch.

#### 4.4.5 NV.3425 632 - disparo 05

La Pala 04 minó el disparó realizado con Fortis Extra 50 del 18 al 24 de febrero. El promedio del tonelaje de la Pala 04, se incrementó de 73 170,00 ton/día con HA-45/55 a 77 285,00 ton/día con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 5,62 %.

**Figura 59**

*Tonelaje Pala 04 – Disparo 05*

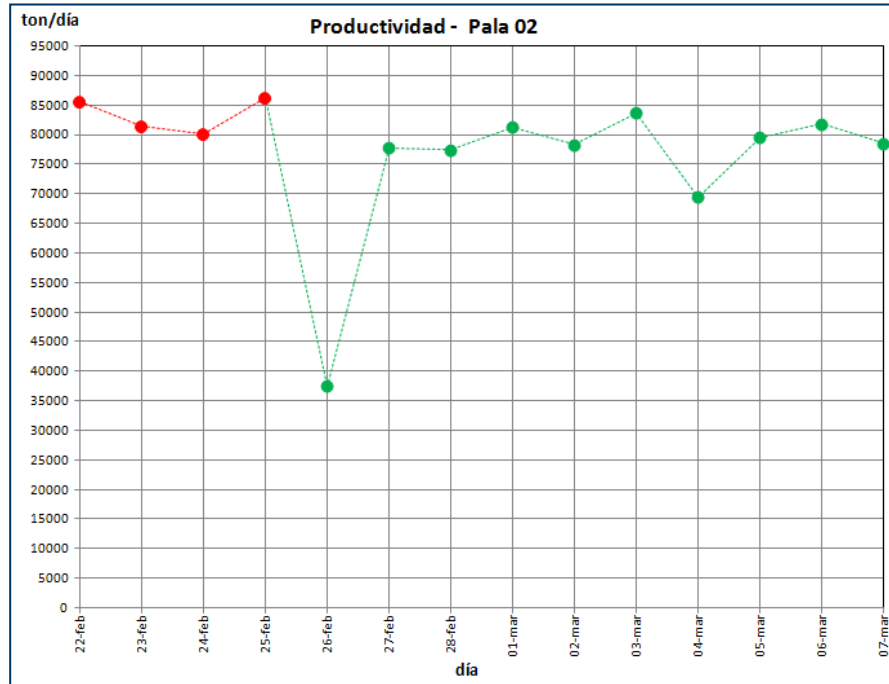


*Fuente: Dispatch.*

De la misma manera la Pala 02 minó el disparó realizado con Fortis Extra 50 del 22 al 24 de febrero. El promedio del tonelaje de la Pala 02, se incrementó de 78 634,00 ton/día con HA-45/55 a 83 261,00 ton/día con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 5,88 %.

**Figura 60**

*Tonelaje Pala 02 – Disparo 05*

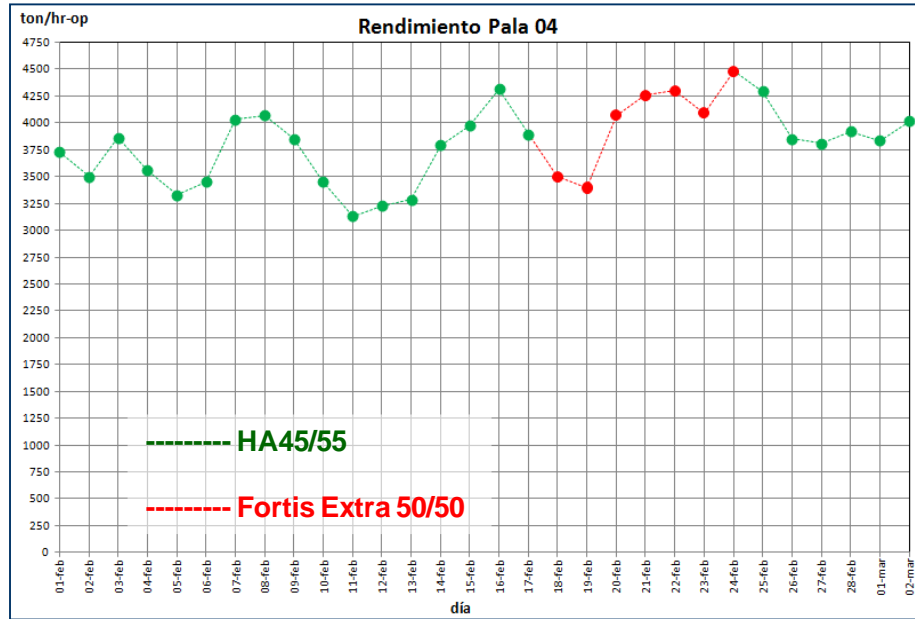


*Fuente:* Dispatch.

El promedio de rendimiento se incrementó de 3 748,00 ton/h-op con HA-45/55 a 4 014,00 ton/h-op con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 7,11 %.

**Figura 61**

*Rendimiento Pala 04 – Disparo 05*

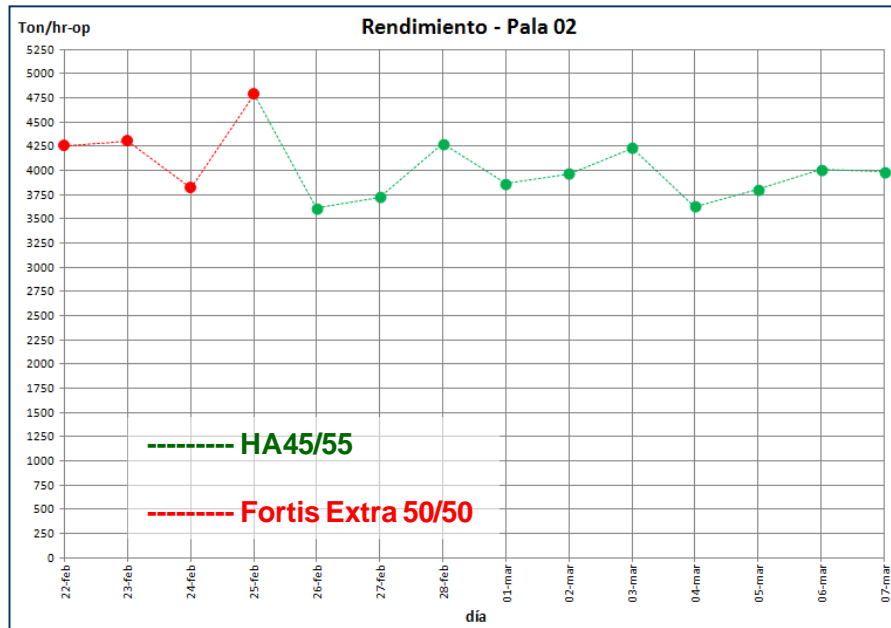


*Fuente:* Dispatch.

El promedio de rendimiento de la Pala 02, se incrementó de 3 908,00 ton/h-op con HA-45/55 a 4 290,00 ton/h-op con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 9,78 %.

**Figura 62**

*Rendimiento Pala 02 – Disparo 05*

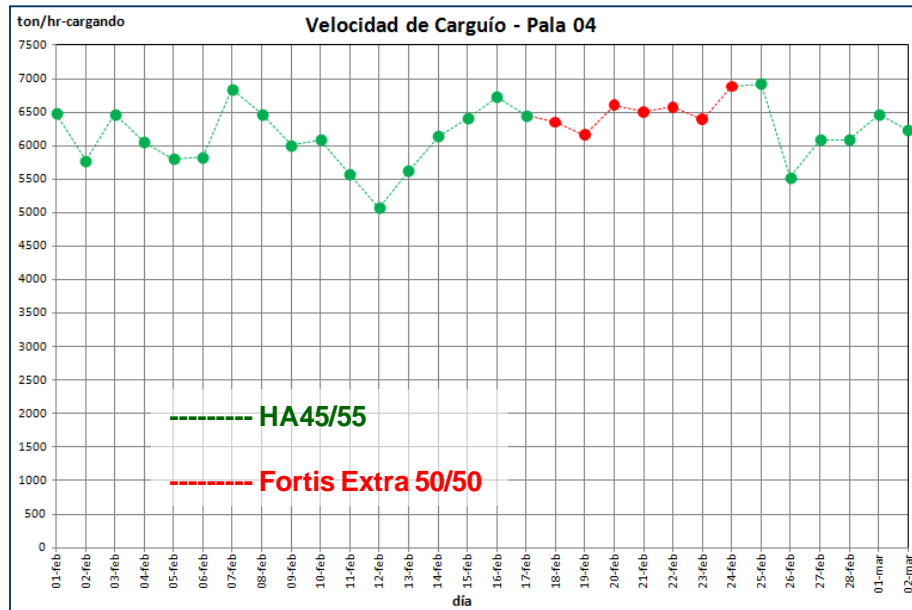


*Fuente:* Dispatch.

El promedio de la velocidad de carguío de la Pala 05, se incrementó de 6 137,00 ton/h-op con HA-45/55 a 6 487,00 ton/h-op con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 5,86 %.

**Figura 63**

*Velocidad de Carguío Pala 04 – Disparo 05*

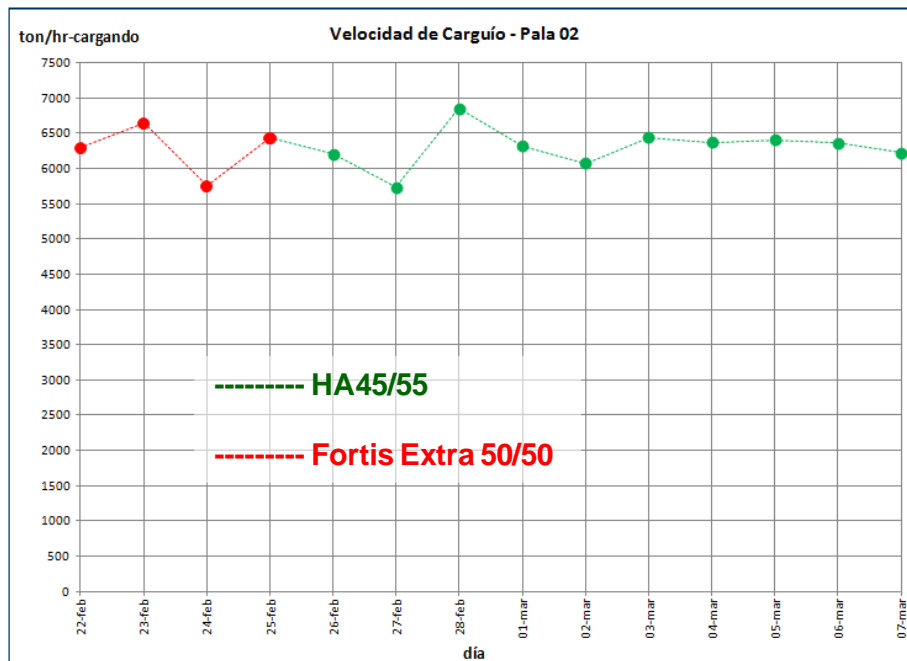


*Fuente: Dispatch.*

El promedio de la velocidad de carguío de la Pala 05, se incrementó de 6 298,00 ton/h-op con HA-45/55 a 6 455,00 ton/h-op, esto representa un incremento del 5,86 %.

**Figura 64**

*Velocidad de Carguío Pala 04 – Disparo 05*



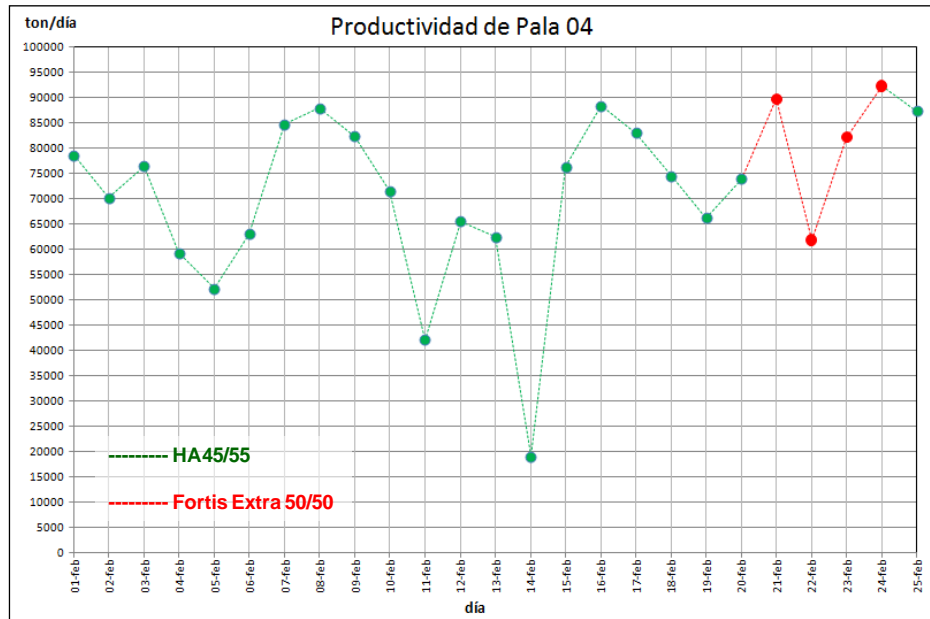
*Fuente:* Dispatch.

#### **4.4.6 NV.3425 635 - disparo 06**

La Pala 04 minó el disparó realizado con Fortis Extra 50 los días 21, 22, 23 y 24. El promedio del tonelaje de la Pala 04, se incrementó de 74 391,00 ton/día con HA-45/55 a 81 555,00 ton/día con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 9,63 %.

**Figura 65**

*Tonelaje – Disparo 06*

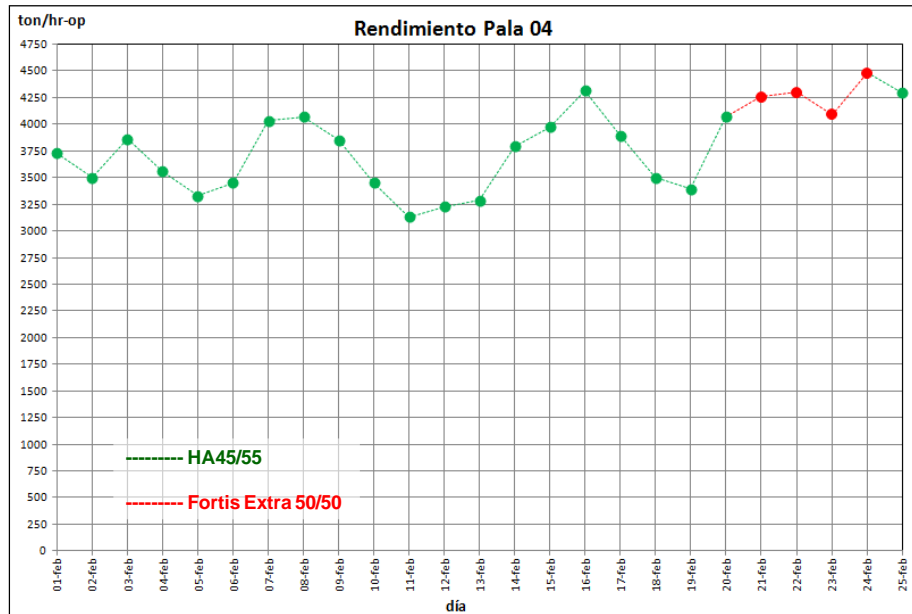


*Fuente: Dispatch.*

El promedio de rendimiento de la Pala 04, se incrementó de 3 709,00 ton/h-op con HA-45/55 a 4 284,00 ton/h-op con Fortis Extra 50 esto representa un incremento del 15,51 %.

**Figura 66**

*Rendimiento – Disparo 06*

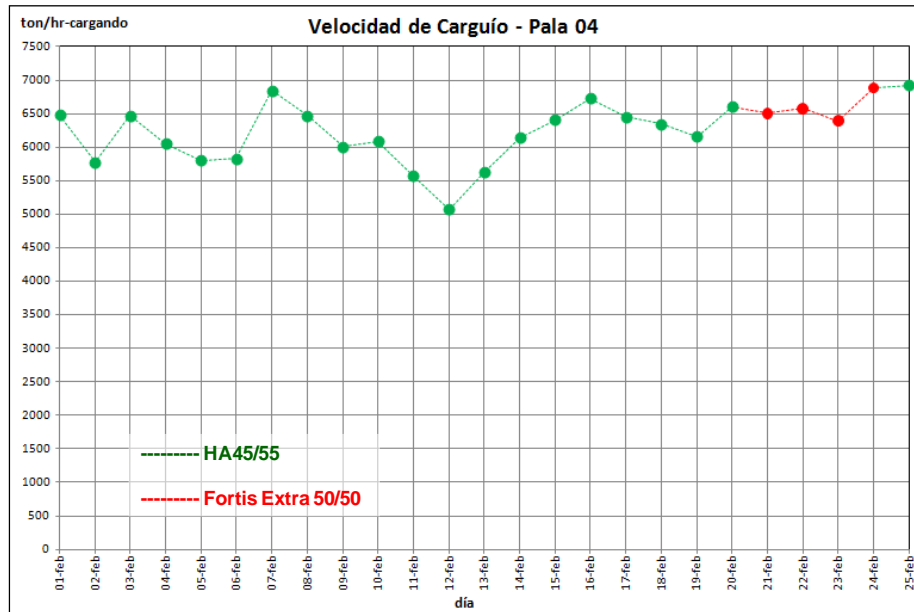


*Fuente: Dispatch.*

El promedio de la velocidad de carguío de la Pala 04, se incrementó de 6 152,00 ton/h-op con HA-45/55 a 6 590,00 ton/h-op, esto representa un incremento del 7,11 %.

**Figura 67**

*Velocidad de Carguío – Disparo 06*



*Fuente: Dispatch.*

## 4.5 Estudio económico

### 4.5.1 Precios de accesorios y materias primas

En la Tabla 25 se muestran los precios de las materias primas y los accesorios de voladuras que se emplearon en las pruebas de Fortis Extra

**Tabla 25***Precios de Materias Primas y Accesorios de Voladura*

<b>Precio de Materias Primas</b>				
<b>Materia Primas y Accesorios</b>	<b>Precios</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precios</b>	<b>Unidades</b>
Nitrato de Amonio	651,30	USD/ton		
Emulsión Matriz	530,00	USD/ton		
Emulsión Fortis Extra	760,00	USD/ton		
Diesel	3,80	USD/Galón	1181,13	USD/ton
Aceite Usado	0,62	USD/Galón	183,47	USD/ton
Booster	6,02	USD/unid		
Fanel	2,29	USD/unid		
I-kon II	25,00	USD/unid		
Cable de Amarre	74,69	USD/Roll	0,18	USD/m
Taponex 12 1/4	7,05	USD/unid		
Cordón Detonante	282,44	USD/Box	0,18	USD/m
Perforación	9,40	USD/m		

*Fuente: Elaboración Propia.***Tabla 26***Precios de Explosivos*

<b>Precios Explosivos</b>	<b>USD/ton</b>
HA-45/55	601,03
Fortis Extra 50/50	709,57
Fortis Extra 100	760,00

*Fuente: Elaboración Propia.*

#### 4.5.2 Estudio económico disparo 01.

**Tabla 27**

*Parámetros de Voladura - Disparo 01*

<b>Parámetros de Voladura - Disparo 01</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Densidad de Mezcla (gr/cc)	1,28	1,30
Diámetro (pulg)	12,25	12,25
Altura de Banco (m)	15,00	15,00
Sobre perforación (m)	1,00	1,00
Kilogramos / Taladro	779,10	791,20
Burden (m)	6,90	6,90
Espaciamiento (m)	8,00	8,00
Malla (m <sup>2</sup> )	55,40	55,40
Densidad de Roca (gr/cc)	2,40	2,40
Ton Rotas / Taladro	1995,00	1995,00
Factor de Carga (kg/ton)	0,39	0,39

*Fuente:* Elaboración Propia.

$$CL = 0.507 \times \phi^2 \times \rho_e \times hc$$

**CL** = Carga Lineal (Kg).

$\phi$  = Diámetro del Taladro (Pulg).

$\rho_e$  = Densidad del Explosivo (g/cc)

**hc** = Altura de Carga Explosivo.

$$CL(HA45/55) = 0,507 \times 12,25^2 \times 1,28 \times 8,00$$

$$CL(HA45/55) = 779,10$$

$$CL(\text{Fortan Extra 50}) = 0,507 \times 12,25^2 \times 1,30 \times 9,00$$

$$CL(\text{Fortan Extra 50}) = 791,20$$

$$TN = BH \times B \times E \times \rho r$$

**TN** = Toneladas rotas por taladro (Ton).

**BH** = Altura de Banco (m).

**B** = Burden (m).

**B** = Espaciamiento(m).

**$\rho r$**  = Densidad de roca (g/cc)

$$TN (HA45/55) = BH \times B \times E \times \rho r$$

$$TN (HA45/55) = 15,00 \times 6,90 \times 8,00 \times 2,40$$

$$TN (HA45/55) = 1995,00$$

$$TN (\text{Fortan Extra 50}) = BH \times B \times E \times \rho r$$

$$TN (\text{Fortan Extra 50}) = 15,00 \times 6,90 \times 8,00 \times 2,40$$

$$TN (\text{Fortan Extra 50}) = 1995,00$$

$$FC = CL / TN$$

**FC = Factor de Carga (Kg/Ton).**

$$FC (HA45/55) = CL / TN$$

$$FC (HA45/55) = 779,10 / 1995,00$$

$$FC \left( \frac{HA45}{55} \right) = 0,39$$

$$FC (Fortan Extra 50) = CL / TN$$

$$FC (Fortan Extra 50) = 791,20 / 1995,00$$

$$FC (Fortan Extra 50) = 0,39$$

$$CeT = CL x Pe / 1000,00$$

**CeT = Costo de explosivo por taladro (USD)**

**CL = Carga Lineal (kg).**

**Pe = Precio del Explosivo (USD/ton)**

$$CeT = CL x Pe / 1000,00$$

$$CeT(HA45/55) = 779,10 x 601,30$$

$$CeT(HA45/55) = 468,25$$

$$CeT(Fortan Extra 50) = CL x Pe / 1000,00$$

$$CeT(Fortan Extra 50) = 779,10 x 601,30$$

$$CeT(Fortan Extra 50) = 561,44$$

$$CeTR = CeT / TN$$

*CeTR = Costo de Explosivo por Tonelada Rota (USD/ton)*

$$CeTR(HA45/55) = CeT / TN$$

$$CeTR\left(\frac{HA45}{55}\right) = 468,25 / 1995,00$$

$$CeTR(HA45/55) = 0,23$$

$$CeTR(Fortan Extra 50) = CeT / TN$$

$$CeTR(Fortan Extra 50) = 468,25 / 1995,00$$

$$CeTR(Fortan Extra 50) = 0,28$$

Tabla 28.  
Costos de Explosivos- Disparo 01.

<b>Costos de Explosivos - Disparo 01</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
USD / Taladro	468,24	561,44
USD / Ton Rota	0,23	0,28

*Fuente: Elaboración Propia.*

***CaT = Suma de Precios de Accesorios de Voladura***

***CaT = Costo de Accesorios de Voladura por Tonelada Rota (USD/taladro)***

$$***CaT(HA45/55) = 12,04 + 2,29 + 25,00 + 7,05 + 1,86 + 3,76***$$

$$***CaT(HA45/55) = 52,01***$$

$$***CaT(Fortan Extra 50) = 12,04 + 2,29 + 25,00 + 7,05 + 1,86 + 3,76***$$

$$***CaT(Fortan Extra 50) = 52,01***$$

$$***CaTR = CaT / TN***$$

***CaTR = Costo de Accesorios por Tonelada Rota (USD/ton)***

$$***CaTR(HA45/55) = CaT / TN***$$

$$***CaTR(HA45/55) = 52,01 x 1995,00***$$

$$***CaTR(HA45/55) = 0,26***$$

$$***CaTR(Fortan Extra 50) = CaT / TN***$$

$$***CaTR(Fortan Extra 50) = 52,01 x 1995,00***$$

$$***CaTR(Fortan Extra 50) = 0,26***$$

**Tabla 29**

*Costos de Accesorios- Disparo 01*

<b>Costos de Accesorios - Disparo 01</b>			
<b>Explosivo</b>		<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Booster	2 unid	12,040	12,040
Fanel	1 unid	2,294	2,294
ikon II	1 unid	25,000	25,000
Taponex	1 unid	7,055	7,055
Cable de Amarre	10 m	1,867	1,867
Cordón Detonante	20 m	3,766	3,766
<b>USD / Taladro</b>		<b>52,021</b>	<b>52,021</b>
<b>USD / Ton Rota</b>		<b>0,026</b>	<b>0,026</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

$$CpT = Pp \times (HB + S)$$

***CpT*** = Costo de perforación por taladro (USD/m)

***HB*** = Altura de Banco (m).

***S*** = Sobre perforación (m)

$$CpT(HA45/55) = Pp \times (HB + S)$$

$$CpT(HA45/55) = 9,40 \times (15,00 + 1,00)$$

$$CpT(HA45/55) = 150,40$$

$$CpT(Fortan Extra 50) = Pp \times (HB + S)$$

$$CpT(Fortan Extra 50) = 9,40 \times (15,00 + 1,00)$$

$$CpT(\text{Fortan Extra 50}) = 150,40$$

$$CpTR = CpT / TM$$

*CpTR = Costo de perforación por tonelada rota (USD/ton)*

*TN = Toneladas rotas por taladro (Ton).*

$$CpTR(\text{HA45/55}) = CpT / TM$$

$$CpTR(\text{HA45/55}) = 150,40 / 1995,00$$

$$CpTR(\text{HA45/55}) = 0,075$$

$$CpTR(\text{Fortan Extra 50}) = CpT / TM$$

$$CpTR(\text{Fortan Extra 50}) = 150,40 / 1995,00$$

$$CpTR(\text{Fortan Extra 50}) = 0,075$$

**Tabla 30**

*Costos de Perforación- Disparo 01*

<b>Costos de Perforación - Disparo 01</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Taladro</b>	150,400	150,400
<b>USD / Ton Rota</b>	0,075	0,075

*Fuente: Elaboración Propia.*

$$CPV = CeTR + CaTr + CpTR$$

*CpTR = Costo total de Perforación y Voladura por tonelada rota (USD/ton)*

$$CPV (HA45/55) = CeTR + CaTr + CpTR$$

$$CPV (HA45/55) = 0,234 + 0,026 + 0,075$$

$$CPV (HA45/55) = \mathbf{0,336}$$

$$CPV (Fortan Extra 50) = CeTR + CaTr + CpTR$$

$$CPV (Fortan Extra 50) = 0,281 + 0,026 + 0,075$$

$$CPV (Fortan Extra 50) = \mathbf{0,382}$$

**Tabla 31**

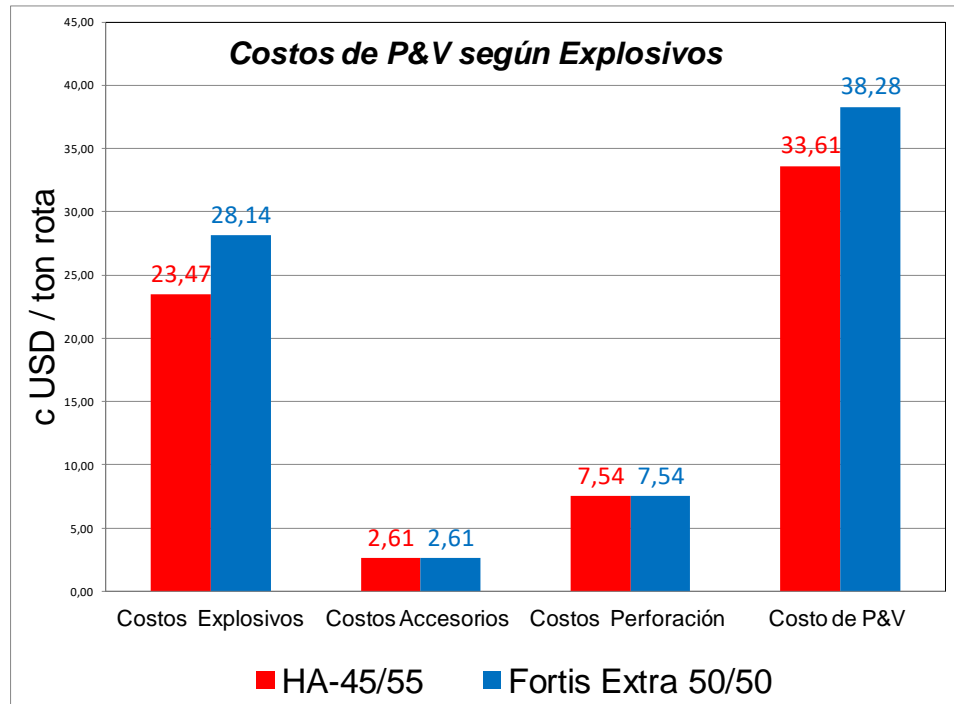
*Costos de Perforación y Voladura- Disparo 01*

<b>Costos de Perforación &amp; Voladura - Disparo 01</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Ton Rota</b>	0,336	0,382

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 68**

*Costos de Perforación y Voladura - Disparo 01*



*Fuente:* Elaboración Propia.

Con la implementación de Fortis Extra 50, se obtuvo beneficios incrementales en la producción, que permiten cubrir los costos de la implementación de tecnología Fortis Extra.

### 4.5.3 Estudio económico disparo 02.

**Tabla 32**

*Parámetros de Voladura - Disparo 02*

<b>Parámetros de Voladura - Disparo 02</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Densidad de Mezcla (gr/cc)	1,28	1,30
Diámetro (pulg)	12,25	12,25
Altura de Banco (m)	15,00	15,00
Sobre perforación (m)	1,00	1,00
Kilogramos / Taladro	779,10	791,20
Burden (m)	6,90	7,80
Espaciamiento (m)	8,00	9,00
Malla (m <sup>2</sup> )	55,40	70,10
Densidad de Roca (gr/cc)	2,40	2,40
Ton Rotas / Taladro	1995,00	2525,00
Factor de Carga (kg/ton)	0,39	0,31

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Tabla 33**

*Costos de Explosivos- Disparo 02*

<b>Costos de Explosivos - Disparo 02</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Taladro</b>	468,248	561,449
<b>USD / Ton Rota</b>	0,234	0,222

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Tabla 34***Costos de Accesorios- Disparo 02*

<b>Costos de Accesorios - Disparo 02</b>			
<b>Explosivo</b>		<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Booster	2 unid	12,040	12,040
Fanel	1 unid	2,290	2,290
Ikon II	1 unid	25,000	25,000
Taponex	1 unid	7,050	7,050
Cable de Amarre	10 m	1,860	1,860
Cordón Detonante	20 m	3,760	3,760
<b>USD / Taladro</b>		<b>52,021</b>	<b>52,021</b>
<b>USD / Ton Rota</b>		<b>0,0261</b>	<b>0,020</b>

*Fuente: Elaboración Propia.***Tabla 35***Costos de Perforación - Disparo 02*

<b>Costos de Perforación - Disparo 02</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Taladro</b>	150,400	150,400
<b>USD / Ton Rota</b>	0,075	0,059

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 36**

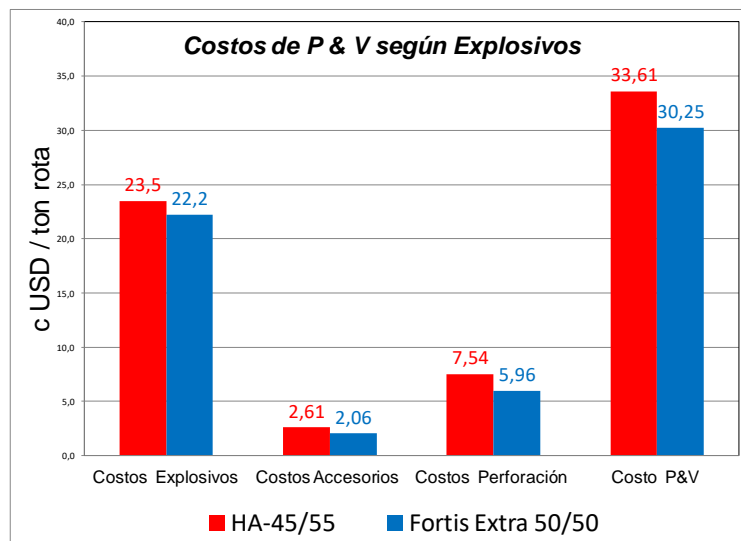
*Costos de Perforación y Voladura- Disparo 02*

<b>Costos de Perforación &amp; Voladura - Disparo 02</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Ton Rota</b>	0,336	0,302

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 69**

*Costos de Perforación y Voladura - Disparo 02*



*Fuente:* Elaboración Propia.

Al ampliar la malla de 6,90 m x 8,00 m a 7,80 m x 9,00 se tiene un ahorro en costos de perforación y voladura de 10,10 % al usar Fortis Extra 50, sumado a los beneficios por incremento de la producción.

#### 4.5.4 Estudio Económico Disparo 03

**Tabla 37**

*Parámetros de Voladura - Disparo 03*

<b>Parámetros de Voladura - Disparo 03</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Densidad de Mezcla (gr/cc)	1,28	1,30
Diámetro (pulg)	12,25	12,25
Altura de Banco (m)	15,00	15,00
Sobre perforación (m)	1,00	1,00
Kilogramos / Taladro	779,10	890,20
Burden (m)	6,90	7,80
Espaciamiento (m)	8,00	9,00
Malla (m <sup>2</sup> )	55,40	70,10
Densidad de Roca (gr/cc)	2,40	2,40
Ton Rotas / Taladro	1995,00	2525,00
Factor de Carga (kg/ton)	0,39	0,35

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 38**

*Costos de Explosivos- Disparo 03*

<b>Costos de Explosivos - Disparo 03</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Taladro</b>	468,248	631,630
<b>USD / Ton Rota</b>	0,234	0,250

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 39***Costos de Accesorios - Disparo 03*

<b>Costos de Accesorios - Disparo 03</b>			
<b>Explosivo</b>		<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Booster	2 unid	12,040	12,040
Fanel	1 unid	2,290	2,290
ikon II	1 unid	25,000	25,000
Taponex	1 unid	7,050	0,000
Cable de Amarre	10 m	1,860	1,860
Cordón Detonante	20 m	3,760	3,760
<b>USD / Taladro</b>		<b>52,021</b>	<b>44,966</b>
<b>USD / Ton Rota</b>		<b>0,026</b>	<b>0,017</b>

*Fuente: Elaboración Propia.***Tabla 40***Costos de Perforación- Disparo 03*

<b>Costos de Perforación - Disparo 03</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Taladro</b>	150,400	150,400
<b>USD / Ton Rota</b>	0,075	0,059

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 41**

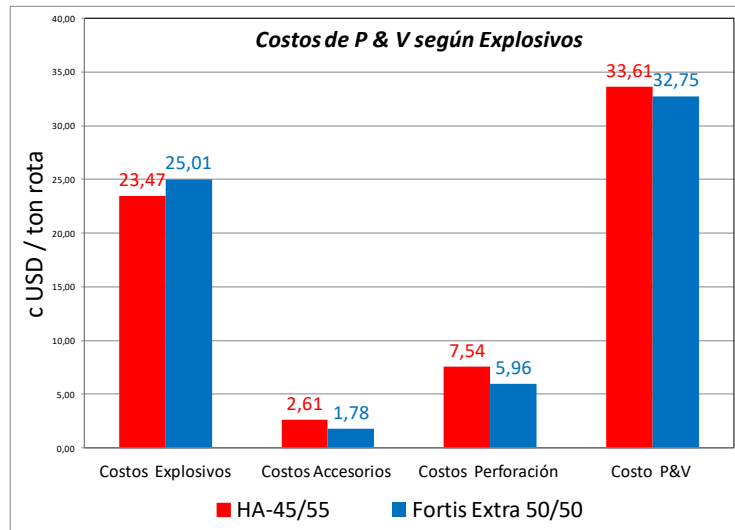
*Costos de Perforación y Voladura- Disparo 03*

<b>Costos de Perforación &amp; Voladura - Disparo 03</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Ton Rota</b>	0,336	0,327

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 70**

Costos de Perforación y Voladura - Disparo 03



*Fuente:* Elaboración Propia

Al ampliar la malla de 6,90 m x 8,00 m a 7,80 m x 9,00 m, se tiene un ahorro en costos de perforación y voladura de 2,60 %, sumado a los beneficios por incremento de la producción de la pala.

#### 4.5.5 Estudio económico disparo 04

**Tabla 42**

*Parámetros de Voladura - Disparo 04*

<b>Parámetros de Voladura - Disparo 04</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Densidad de Mezcla (gr/cc)	1,28	1,30
Diámetro (pulg)	12,25	12,25
Altura de Banco (m)	15,00	15,00
Sobre perforación (m)	1,00	1,00
Kilogramos / Taladro	779,10	890,20
Burden (m)	6,90	7,80
Espaciamiento (m)	8,00	9,00
Malla (m <sup>2</sup> )	55,40	70,10
Densidad de Roca (gr/cc)	2,40	2,40
Ton Rotas / Taladro	1995,00	2525,00
Factor de Carga (kg/ton)	0,39	0,35

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 43**

*Costos de Explosivos- Disparo 04*

<b>Costos de Explosivos - Disparo 04</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Taladro</b>	468,248	631,630
<b>USD / Ton Rota</b>	0,234	0,250

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 44***Costos de Accesorios - Disparo 04*

<b>Costos de Accesorios - Disparo 04</b>			
<b>Explosivo</b>		<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Booster	2 unid	12,040	12,040
Fanel	1 unid	2,290	2,290
ikon II	1 unid	25,000	25,000
Taponex	1 unid	7,050	7,050
Cable de Amarre	10 m	1,860	1,860
Cordón Detonante	20 m	3,760	3,760
<b>USD / Taladro</b>		<b>52,021</b>	<b>52,021</b>
<b>USD / Ton Rota</b>		<b>0,026</b>	<b>0,020</b>

*Fuente: Elaboración Propia.***Tabla 45***Costos de Perforación - Disparo 04*

<b>Costos de Perforación - Disparo 04</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Taladro</b>	150,400	150,400
<b>USD / Ton Rota</b>	0,075	0,059

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 46**

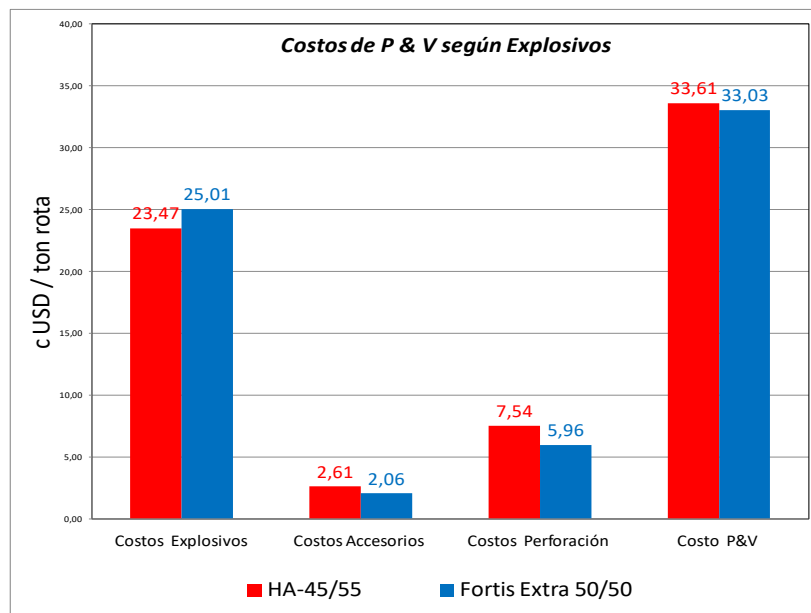
*Costos de Perforación y Voladura- Disparo 04*

<b>Costos de Perforación &amp; Voladura - Disparo 04</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Ton Rota</b>	0,336	0,330

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 71**

Costos de Perforación y Voladura - Disparo 04



Fuente: Elaboración Propia

Al ampliar la malla de 6,90 m x 8,00 m a 7,80 m x 9,00 m, se tiene un ahorro en costos de perforación y voladura de 1,70 %, sumado a los beneficios por incremento de la producción de la pala.

#### 4.5.6 Estudio económico disparo 05

**Tabla 47**

*Parámetros de Voladura - Disparo 05*

<b>Parámetros de Voladura - Disparo 05</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Densidad de Mezcla (gr/cc)	1,28	1,30
Diámetro (pulg)	12,25	12,25
Altura de Banco (m)	15,00	15,00
Sobre perforación (m)	1,00	1,00
Kilogramos / Taladro	779,10	890,20
Burden (m)	6,90	7,80
Espaciamiento (m)	8,00	9,00
Malla (m <sup>2</sup> )	55,40	70,10
Densidad de Roca (gr/cc)	2,40	2,40
Ton Rotas / Taladro	1995,00	2525,00
Factor de Carga (kg/ton)	0,39	0,35

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Tabla 48**

*Costos de Explosivos- Disparo 05*

<b>Costos de Explosivos - Disparo 05</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Taladro</b>	468,248	631,630
<b>USD / Ton Rota</b>	0,234	0,250

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Tabla 49***Costos de Accesorios- Disparo 05*

<b>Costos de Accesorios - Disparo 05</b>			
<b>Explosivo</b>		<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Booster	2 unid	12,040	12,040
Fanel	1 unid	2,290	2,290
ikon II	1 unid	25,000	25,000
Taponex	1 unid	7,050	7,050
Cable de Amarre	10 m	1,860	1,860
Cordón Detonante	20 m	3,760	3,760
<b>USD / Taladro</b>		<b>52,021</b>	<b>52,021</b>
<b>USD / Ton Rota</b>		<b>0,026</b>	<b>0,020</b>

*Fuente: Elaboración Propia.***Tabla 50***Costos de Perforación- Disparo 05*

<b>Costos de Perforación - Disparo 05</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Taladro</b>	150,400	150,400
<b>USD / Ton Rota</b>	0,075	0,059

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 51**

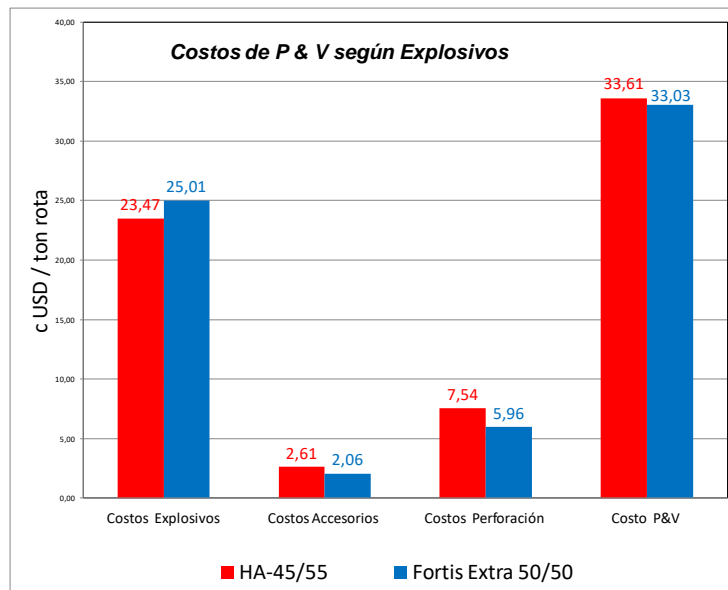
*Costos de Perforación y Voladura- Disparo 05*

<b>Costos de Perforación &amp; Voladura - Disparo 05</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Ton Rota</b>	0,336	0,330

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 72**

Costos de Perforación y Voladura - Disparo 05



Fuente: Elaboración Propia

Al ampliar la malla de 6,90 m x 8,00 m a 7,8 m x 9,00 m, se tiene un ahorro en costos de perforación y voladura de 1,70 %, sumado a los beneficios por incremento de la producción de la pala.

#### 4.5.7 Estudio económico disparo 06.

**Tabla 52**

*Parámetros de Voladura - Disparo 06*

<b>Parámetros de Voladura - Disparo 06</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Densidad de Mezcla (gr/cc)	1,28	1,30
Diámetro (pulg)	12,25	12,25
Altura de Banco (m)	15,00	15,00
Sobre perforación (m)	1,00	1,00
Kilogramos / Taladro	779,10	890,20
Burden (m)	7,80	8,20
Espaciamiento (m)	9,00	9,50
Malla (m <sup>2</sup> )	70,10	78,20
Densidad de Roca (gr/cc)	2,40	2,40
Ton Rotas / Taladro	2525,00	2814,00
Factor de Carga (kg/ton)	0,30	0,31

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 53**

*Costos de Explosivos- Disparo 06*

<b>Costos de Explosivos - Disparo 06</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Taladro</b>	468,248	631,630
<b>USD / Ton Rota</b>	0,185	0,224

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 54***Costos de Accesorios- Disparo 06*

<b>Costos de Accesorios - Disparo 06</b>			
<b>Explosivo</b>		<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
Booster	2 unid	12,040	12,040
Fanel	1 unid	2,290	2,290
ikon II	1 unid	25,000	25,000
Taponex	1 unid	7,050	7,050
Cable de Amarre	10 m	1,860	1,860
Cordón Detonante	20 m	3,760	3,760
<b>USD / Taladro</b>		<b>52,021</b>	<b>52,021</b>
<b>USD / Ton Rota</b>		<b>0,020</b>	<b>0,018</b>

*Fuente: Elaboración Propia.***Tabla 55***Costos de Perforación- Disparo 06*

<b>Costos de Perforación - Disparo 06</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Taladro</b>	150,400	150,400
<b>USD / Ton Rota</b>	0,059	0,053

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 56**

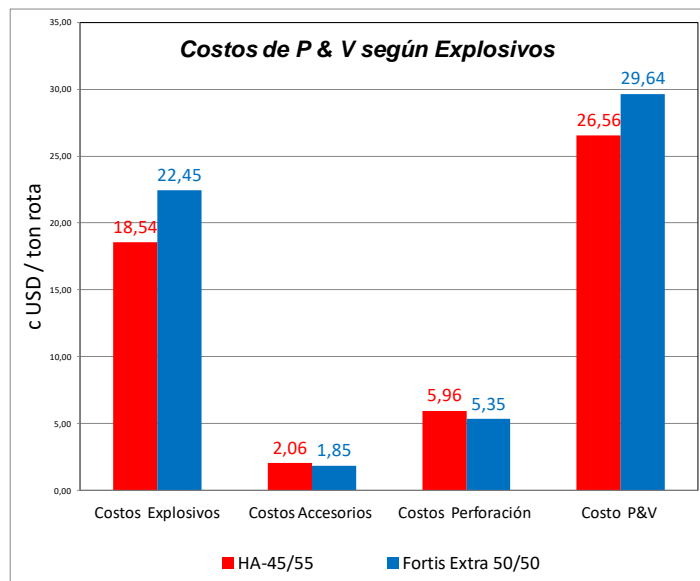
*Costos de Perforación y Voladura- Disparo 06*

<b>Costos de Perforación &amp; Voladura - Disparo 06</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>HA-45/55</b>	<b>Fortis Extra 50</b>
<b>USD / Ton Rota</b>	0,265	0,296

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 73**

*Costos de Perforación y Voladura - Disparo 06*



*Fuente: Elaboración Propia*

Al ampliar la malla de 6,90 m x 8,00 m a 8,20 m x 9,50 m, se tiene un ahorro en costos de perforación y voladura de 11,60 %, sumado a los beneficios por incremento de la producción de la pala.

#### 4.6 Monitoreo de vibraciones.

Se realizaron monitoreos de vibraciones en todas las voladuras de pruebas, la distancia de instalación de los sismógrafos se realizó entre los 50,00 m a 100,00 m de la voladura según los procedimientos del y parámetros de monitoreo establecidos por el área de geotecnia, siendo su valor límite de 340,00 mm/s a estas distancias. En la Tabla 57 se muestra el resumen de los monitoreos de vibraciones realizados en los 06 disparos de prueba.

**Tabla 57**

*Resumen Monitoreo de Vibraciones*

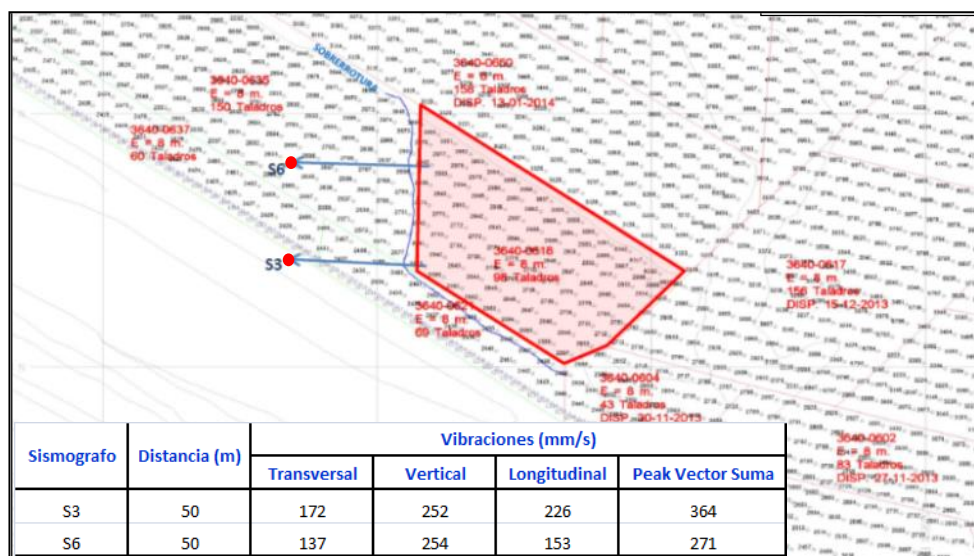
<b>Resumen de Monitoreo de Vibraciones</b>					
<b>Disparo</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Vibraciones (mm/s)</b>			
		<b>Transversal</b>	<b>Vertical</b>	<b>Longitudinal</b>	<b>Vector Suma</b>
1	50	172,00	252,00	226,00	364,00
	50	137,00	254,00	153,00	271,00
2	50	147,00	217,00	214,00	237,00
	50	116,00	187,00	217,00	261,00
3	60	99,60	279,00	140,00	279,00
	60	66,80	92,20	87,80	120,00
4	50	242,00	339,00	399,00	399,00
	70	91,30	189,00	209,00	232,00
6	50	255,00	313,00	172,00	323,00
	50	262,00	302,00	189,00	358,00

*Fuente:* Elaboración Propia.

Los tiempos de diseño y la secuencia de salida fueron establecidos por el área de Geotecnia (100 ms entre filas y 10 ms entre taladros), usando parámetros ya establecidos para cada zona. En el primer disparo se obtuvieron registros de 364,00 mm/s y 271,00 mm/s a una distancia de 50,00 m del disparo, estando el registro del sismógrafo S3 sobre los límites establecidos.

**Figura 74**

*Monitoreo de Vibraciones - Disparo 01*

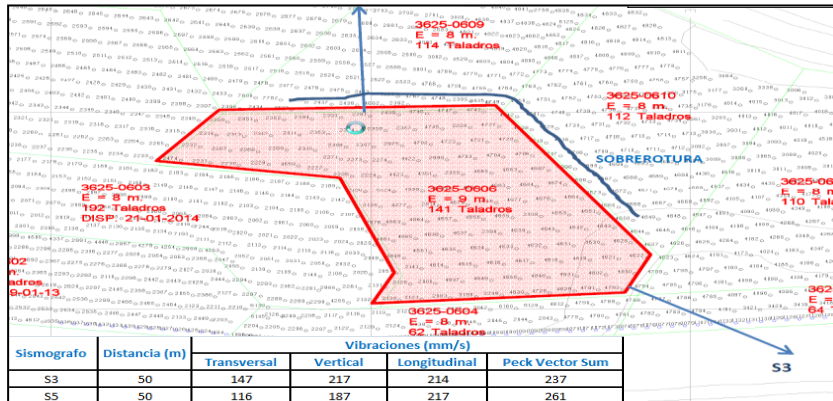


*Fuente:* Área de Geotecnia.

En el segundo disparo se obtuvieron registros de 237,00 mm/s y 261,00 mm/s a una distancia de 50,00 m del disparo, ambos registros se encuentran dentro los parámetros establecidos.

**Figura 75**

*Monitoreo de Vibraciones - Disparo 02*

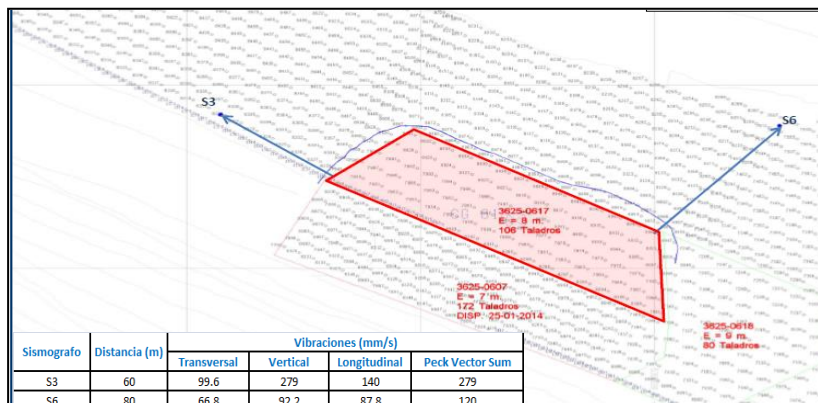


*Fuente: Área de Geotécnica.*

En el tercer disparo se obtuvieron registros de 279,00 mm/s y 120 mm/s a una distancia de 60,00 m y 80,00 m respectivamente, ambos registros se encuentran dentro de los límites establecidos.

**Figura 76**

*Monitoreo de Vibraciones - Disparo 03*

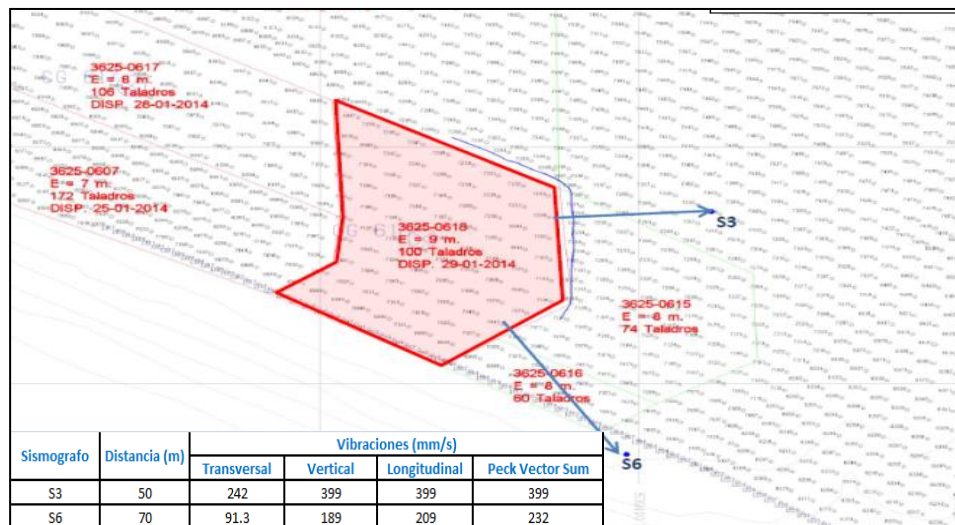


*Fuente: Área de Geotécnica.*

En el cuarto disparo se obtuvieron registros de 399,00 mm/s y 232,00 mm/s a una distancia de 50,00 m y 70,00 m respectivamente, el registro del sismógrafo S3 se encuentra fuera de los rangos establecidos, pero este sismógrafo se encuentra en una zona no critica (alejado del talud).

**Figura 77**

*Monitoreo de Vibraciones - Disparo 04*



*Fuente:* Área de Geotécnica.

En el sexto disparo se obtuvieron registros de 323,00 mm/s y 258,00 mm/s a una distancia de 50,00 m, el registro del sismógrafo S5 se encuentra fuera de los rangos establecidos, pero este sismógrafo se encuentra en una zona no critica (alejado del talud).

**Figura 78**

*Monitoreo de Vibraciones - Disparo 06*



*Fuente: Área de Geotécnica.*

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 Parámetros de diseño.

Los valores obtenidos de la evaluación de los parámetros de diseño de la línea base y los disparos de prueba, permiten identificar desviaciones que pudieran producirse durante la ejecución y evaluar los resultados obtenidos, ver Tabla 58.

**Tabla 58**

*Resumen de Evaluación de Parámetros de Diseño*

N° Disparo	Malla (m.xm.)	Factor de SD	Factor de Rigidez	Energía entre taladros (Mj/t.)	Factor de Potencia (kg/t.)
<b>Línea Base</b>	6,90 x 8,00	0,97	2,17	1,00 - 0,50	0,39
<b>1</b>	6,90 x 8,00	1,05	2,17	2,00 - 1,00	0,39
<b>2</b>	7,80 x 9,00	1,13	1,92	2,00 - 1,00	0,31
<b>3</b>	7,80 x 9,00	1,13	1,92	6,00 - 2,00	0,35
<b>4</b>	7,80 x 9,00	0,98	1,92	2,00 - 1,00	0,35
<b>5</b>	7,80 x 9,00	0,98	1,92	2,00 - 1,00	0,35
<b>6</b>	8,20 x 9,50	0,98	1,83	1,00 - 0,50	0,30

*Fuente:* Elaboración Propia.

En el caso de factor de "SD" para la evaluación del taco de los valores de la línea base y los valores de los disparos de prueba se encuentran dentro del rango establecido para obtener una buena fragmentación y un buen control de la eyección del material de taco entre 0,90 a 1,40. En las imágenes de las filmaciones de las voladuras (Ver Anexos B) se puede observar que la eyección de las voladuras se incrementó al usar Fortis Extra, pero no al nivel de producir eventos de fly rock.

La relación entre burden y altura de banco en cada uno de los casos (factor de rigidez) se encuentra sobre el valor indicado para obtener mejores resultados de fragmentación y aprovechar mejor la energía del explosivo, se recomienda que los valores de índice de rigidez sean mayores a 1,50. Debido a la ampliación de malla en los disparos de prueba, el factor de rigidez disminuyó en función a la línea base, pero aún manteniéndose dentro de los parámetros establecidos.

En la simulación longitudinal de halos de energía de la línea base (Ver Figura 16), se observa que existen zonas entre los taladros donde la energía es menor a 1,00 Mj/t. esto se debe a la distribución del explosivo actual, el uso de cámaras de aire de 3,00

m. ocasiona que existan zonas donde no haya una buena distribución de la energía, el uso de emulsión Fortis Extra al ser gasificada ayuda a mejorar la distribución del explosivo a lo largo de la columna de carga y al ser un producto más energético permite alcanzar estas zonas de baja energía. Según las simulaciones el mejor escenario sería el disparo 03 (carga continua) por la mayor interacción de energía entre taladros, también se observa que en todas las simulaciones con Fortis Extra que la distribución de la energía es mejor que la línea base hasta con la ampliación de malla de 1,00 m., para el caso del disparo 06 con una ampliación de malla de 1,50 m., se observan resultados similares a los de la línea base en términos de energía. Con estas simulaciones podemos determinar que el uso del explosivo Fortis Extra ayuda a distribuir mejor la energía en el macizo rocoso.

Según la línea base el factor de potencia empleado en la zona de roca traquita es de 0,39 kg/t, para el desarrollo de las pruebas se estableció, no superar el valor de este factor e intentar reducirlo durante las voladuras de pruebas, según la tabla 58 se observa que los valores de factor de potencia de los disparos de prueba se encuentran por debajo de lo establecido. Gracias a que el explosivo Fortis Extra es gasificado, permite aumentar la longitud de carga

manteniendo los mismos kilogramos de explosivo.

En cuanto a las secuencias de detonación, no se pudo incurrir en cambiar los diseños, ya que estos están pre establecidos por el área de geotécnica y debido a que es una variable que afecta directamente a la fragmentación, se estableció mantener los tiempos y secuencias usadas regularmente para no impactar en la comparación de los resultados al emplear emulsión Fortis Extra versus emulsión estándar.

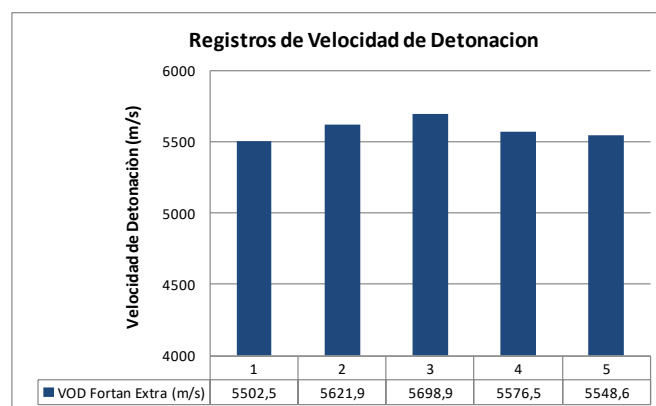
## **5.2 Controles de calidad**

Los valores de densidad de control de calidad de la emulsión y de la mezcla explosiva se encontraron dentro de los rangos establecidos durante todas las pruebas con lo cual se garantiza el óptimo desempeño del producto explosivo en la detonación. Los valores de densidad estuvieron en un promedio de 1,35 g/cc. para la emulsión Fortis Extra siendo su rango entre 1,34 - 1,36 g/cc, para el caso del explosivo Fortis Extra 50 los valores de densidad inicial dieron un promedio de 1,28 g/cc. con una densidad de copa final entre los 20 a 25 minutos de 1,10 g/cc. valores dentro de los rangos establecidos.

Se realizaron cinco mediciones de la velocidad de detonación al explosivo Fortis Extra 50, todos los registros se encuentran dentro del rango establecido para este producto entre 5 500 – 5800 m/s, valores sobre los registros para la mezcla explosiva estándar HA 45/55 de 5300 m/s. Al tener velocidades de detonación mayores estas provocan un aumento en la presión de detonación ejercida en los taladros, impactando directamente de manera positiva en la reducción de la fragmentación. Este aumento de velocidad de detonación se debe a la sensibilización del explosivo, que al ser gasificado genera burbujas de nitrógeno en la matriz de la emulsión generando los llamados "hot points" o puntos calientes, que al momento de producirse la detonación aumentan la velocidad del explosivo.

**Figura 79**

*Resumen de Registros de VOD*



*Fuente: Elaboración Propia.*

### 5.3 Análisis de fragmentación

Según los resultados de los análisis de fragmentación realizado a los 06 disparos de prueba con emulsión Fortis Extra, se puede evidenciar que todos los valores de P80 se encuentran por debajo del P80 de la línea base cargado con explosivo estándar, el P80 de la línea base es de 11,90 Pulg, con este valor de P80 se vienen presentando demoras operativas en el proceso de carguío asociado a presencia de material con sobre tamaños en el frente de minado.

**Tabla 59**

*Resumen de Análisis de Fragmentación.*

N° Disparo	Malla (m. x m.)	Tamaño Característico (m.)	Factor de Potencia (kg/t)	Índice de Uniformidad	Material Pasante al 80% "P80" (Pulg.)
<b>Línea Base</b>	6,90 x 8,00	8,02	0,39	1,44	11,90
<b>1</b>	6,90 x 8,00	5,41	0,39	1,21	8,00
<b>2</b>	7,80 x 9,00	5,72	0,31	1,34	8,16
<b>3</b>	7,80 x 9,00	7,23	0,35	1,31	10,40
<b>4</b>	7,80 x 9,00	6,38	0,35	1,26	9,30
<b>5</b>	7,80 x 9,00	5,97	0,35	1,76	8,45
<b>6</b>	8,20 x 9,50	7,64	0,30	1,73	10,30

*Fuente:* Elaboración Propia.

El mejor valor de P80 se obtuvo en el disparo 01 debido a que se respetaron los parámetros de malla y factor de potencia, solo

realizando el cambio entre la emulsión estándar por emulsión Fortis Extra obteniendo una mejor fragmentación de 3,90 pulgadas. En el disparo 02, 03, 04 y 05 se empleó una malla de 7,80 m x 9,00 m con valores entre las 8,00 y 9,00 pulgadas con excepción de la voladura 03 donde se puede observar un valor de 10,40 Pulg. de P80 esto debido a que por temas operativos no se empleó una apropiada secuencia de detonación, influyendo también la poca cantidad de tamaño y mala geometría de la malla de perforación. En la voladura 06 se empleó una malla de 8,20 m x 9,50 m obteniendo un valor de P80 de 10,30 Pulg. valor por debajo de la línea base y teniendo en cuenta la ampliación de malla de 1,50 metros.

Todos los valores de P80 de los disparos de prueba se encuentran por debajo de la línea base de fragmentación, con valores de factor de potencia igual o menores a los de la línea base.

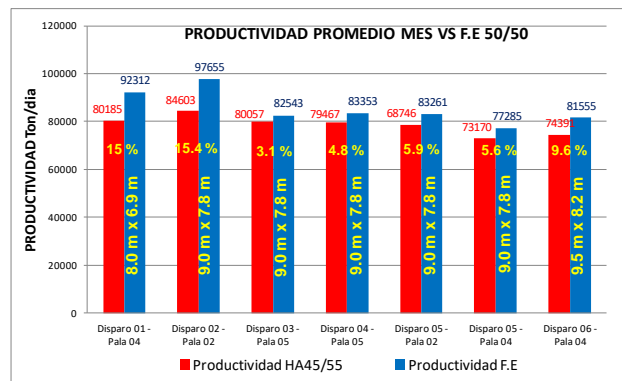
#### **5.4 Rendimiento y tasa de excavación**

Según la figura 80 se puede observar un incremento en los valores de tonelaje de los equipos de carguío en los 06 disparos de prueba, desde un 3,10 % a un 15,40 %. Los valores más altos de incremento del tonelaje se dan en los disparos 01 y 02 donde se emplearon factores de potencia más elevados cercanos a los de la

línea base, y el menor incremento del tonelaje se evidencia en el disparo 03 donde se presentó parámetros de perforación y voladura no óptimos.

**Figura 80**

*Resumen de Tonelaje*



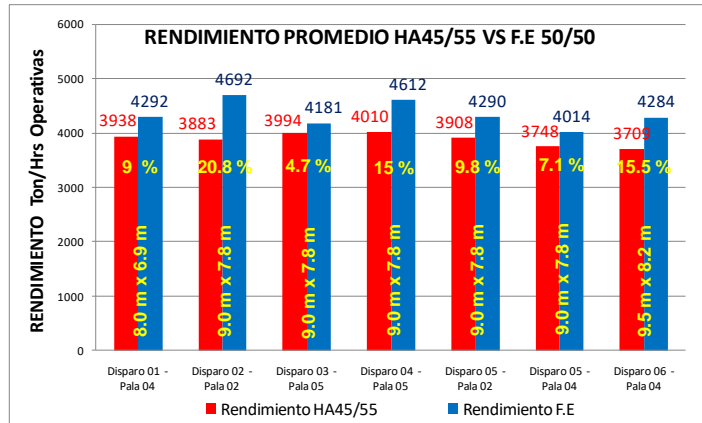
*Fuente:* Elaboración Propia.

En cuanto al rendimiento de los equipos de carguío se incrementó de 4,70 % a 20,80 %. Se observa un incremento del rendimiento de los valores tomados durante el minado de los disparos de prueba comparado con el promedio empleando explosivo estándar.

En la Figura 81 se muestran los valores tomados y los incrementos en porcentajes, pudiendo observar que hasta el disparo 06 con un incremento de malla mayor logró aumentar el rendimiento hasta 15,50 %.

**Figura 81**

*Resumen de Rendimiento de Equipos*

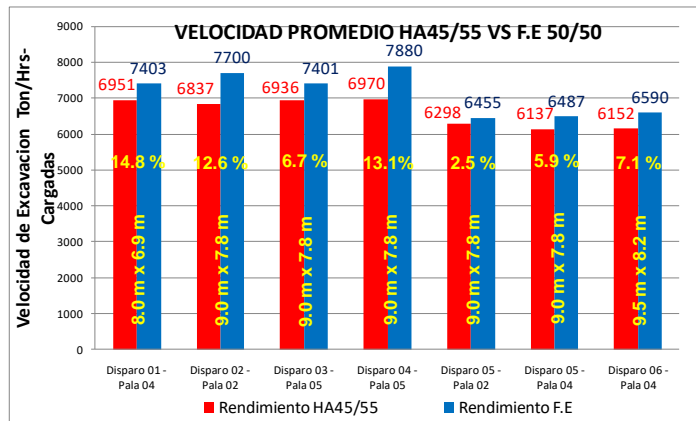


Fuente: Elaboración Propia.

El incremento de la velocidad de excavación de las palas varía de un 2,50 % a un 14,80 % en los proyectos donde se utilizó Fortis Extra

**Figura 82**

*Resumen de Velocidad de Carguío*



Fuente: Elaboración Propia.

## 5.5 Evaluación económica

Se realizó la evaluación económica a los 06 disparos de pruebas con emulsión Fortis Extra con un supuesto de material a romper de 1 000 000,00 de toneladas, obteniendo porcentajes de beneficio económico en función de los parámetros de la línea base como muestra la tabla 60.

**Tabla 60**

*Beneficio Económico*

N° Disparo	Malla (m x m)	Factor de Potencia (kg/Tn)	USD / ton rota		Beneficio Económico (%)
			Explosivo Estándar	Fortis Extra	
<b>Línea Base</b>	6,90 x 8,00	0,39	33,61	38,28	
<b>1</b>	6,90 x 8,00	0,39	33,61	30,20	-13,90
<b>2</b>	7,80 x 9,00	0,35	33,61	32,93	10,00
<b>3</b>	7,80 x 9,00	0,35	33,61	32,75	2,60
<b>4</b>	7,80 x 9,00	0,35	33,61	33,03	1,70
<b>5</b>	7,80 x 9,00	0,35	33,61	33,03	1,70
<b>6</b>	8,20 x 9,50	0,31	33,61	29,64	11,60

*Fuente:* Elaboración Propia.

Para el disparo 01 no se obtiene un beneficio económico positivo, ya que el explosivo Fortis Extra es más caro que el explosivo estándar y al conservar los mismos parámetros de

perforación y voladura obtenemos un incremento en los costos del 13,90 %.

En el disparo 02 se muestra una reducción de los costos del 10,00 % esto debido a la ampliación de malla y a la disminución del factor de potencia comparado con la línea base.

En los disparos 03, 04 y 05 se obtuvieron ahorros entre 1,70 % y 2,30 %, en estos 03 disparos se aumentó el factor de potencia en comparación de la voladura 02, mientras que en la voladura 06 se obtuvo el mayor beneficio económico con un ahorro del 11,60 % debido principalmente al incremento de la malla de perforación.

Según los resultados de la evaluación económica a excepción del escenario del disparo 01 es posible obtener ahorros al usar emulsión Fortis Extra, siendo la ampliación de malla el principal parámetro para la generación de ahorro en perforación, esto debido a la mayor energía que otorga la emulsión Fortis Extra.

## CONCLUSIONES

1. El uso de emulsión energética Fortis Extra mejora los resultados de voladura, se evidenció disminución del P80 en los 06 disparos realizados con emulsión Fortis Extra en comparación con la línea base, tanto en los disparos donde se mantuvieron los parámetros de diseño y en los disparos donde se realizó ampliación de malla.
2. El uso de emulsión Fortis Extra mejora el rendimiento en 9,00 % a 20.80 % y la tasa de excavación en 2.50 % a 14.80 %.
3. Se registro un incremento de la velocidad de detonación del explosivo con emulsión Fortis Extra, aumento de 5300,00 m/s a 5698,00 m/s.
4. Se logró un incremento de los parámetros de perforación, pasando de una malla de 6.90 x 8.00 m a 8.20 x 9.50 m, pudiendo lograr un ahorro hasta el 11.50 % por cada 1 000 000,00 toneladas de material quebrado.

## **RECOMENDACIONES**

1. Vistos los beneficios obtenidos con el uso de Fortis Extra en la zona de Traquita (Desmonte), se recomienda realizar pruebas en zona de mineral para apreciar el impacto que causaría en la molienda en términos de ahorro de energía.
2. En los disparos realizados se observaron algunos taladros con eyecciones, los resultados pueden mejorar al implementar una grava seleccionada de 1,00 a 2,50 pulgadas (material anguloso, no redondeado), para lograr un mayor confinamiento.
3. Se recomienda efectuar estudios de tiempos, con la finalidad de mejorar la eficiencia en los resultados de fragmentación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castilla J (2013). *Perforación y voladura en minería Madrid*. Madrid España.

Enaex (2000). *Manual Práctico de Voladura*. Madrid: IGME.

EXSA. (2001). *Manual Práctico de Voladura*. Lima: EXSA.

Frank Chiappetta (2010). *Blasting Analysis International*, EEUU.

Gil, M. (1997). “*Curso completo sobre uso y manejo de explosivos industriales*”. España.

Kutuzov (1979), *Clasificación de rocas según su explosividad para descubrimientos*. Moscú.

Orica. (2010). *Técnicas y tecnologías de voladura*. Lima, Perú.

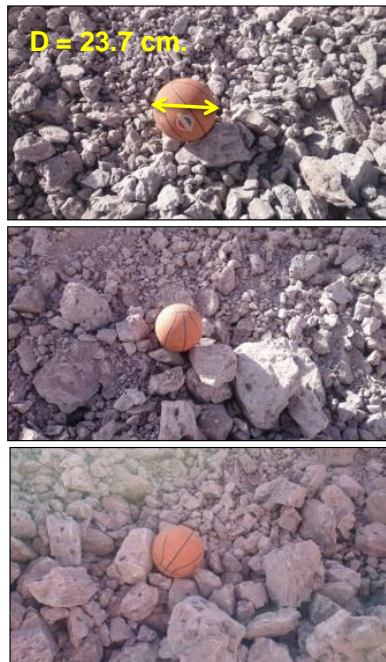
Orica (2017), *Fichas Técnicas de productos Explosivos*. Lima, Perú.

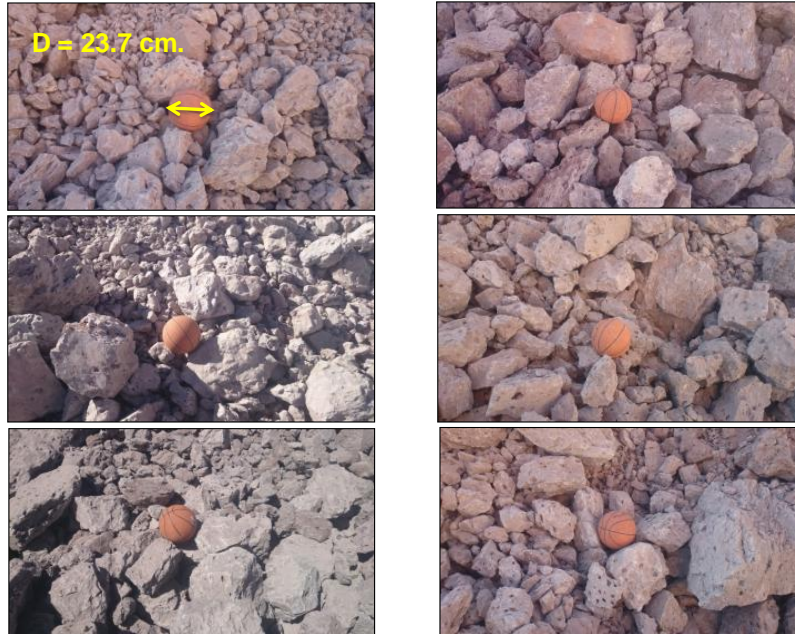
## **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de consistencia.

TEMA: Implementación de Emulsión Energética Fortis Extra en Roca Traquita			
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES
¿Cómo mejorar la fragmentación en roca traquita para incrementar la producción de los equipos de acarreo?	<p>Determinar las ventajas técnicas y económicas con la implementación de emulsión Fortis Extra.</p> <p>Dentro de los objetivos específicos tenemos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar y optimizar los parámetros de perforación y voladura en zona de roca traquita.</li> <li>• Implementar explosivo Fortis Extra para ser utilizado en las voladuras de zona de roca traquita.</li> <li>• Evaluar los beneficios de la implementación de la emulsión energética Fortis Extra.</li> </ul>	<p>Sí se puede mejorar la fragmentación en roca traquita mediante la implementación de emulsión Fortis Extra.</p> <p>Dentro de las hipótesis específicas tenemos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se podrá aumentar la producción de las palas y rendimientos de los equipos en las zonas donde se emplea emulsión Fortis Extra.</li> <li>• Se obtiene mejor desempeño en términos de energía y velocidad de detonación con emulsión Fortis Extra.</li> <li>• Se puede obtener beneficios económico positivos al implementar emulsión energética Fortis Extra aumentado malla, debido a la mayor energía que ofrece la emulsión Fortis Extra</li> </ul>	<p><b>VARIABLES E INDICADORES</b></p> <p><b>VARIABLES Independientes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de Voladura (burden, espaciamiento, factor de carga, sobre perforación, longitud de taco, densidad del explosivo, secuencia de detonación).</li> <li>• Características del macizo Rocoso (densidad de la roca, RQD, UCS, modulo de Young)</li> </ul> <p><b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Factor de Potencia</li> <li>- Factor de Energía</li> </ul> <p><b>VARIABLES dependientes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño medio de Fragmento X50, P80, índice de uniformidad, velocidad de detonación del explosivo.</li> </ul> <p><b>Indicadores</b></p> <p>Producción y rendimiento de equipos de acarreo.</p>

Anexo 2. Fotografías de fragmentación - Nv.3460 628 - disparo 01

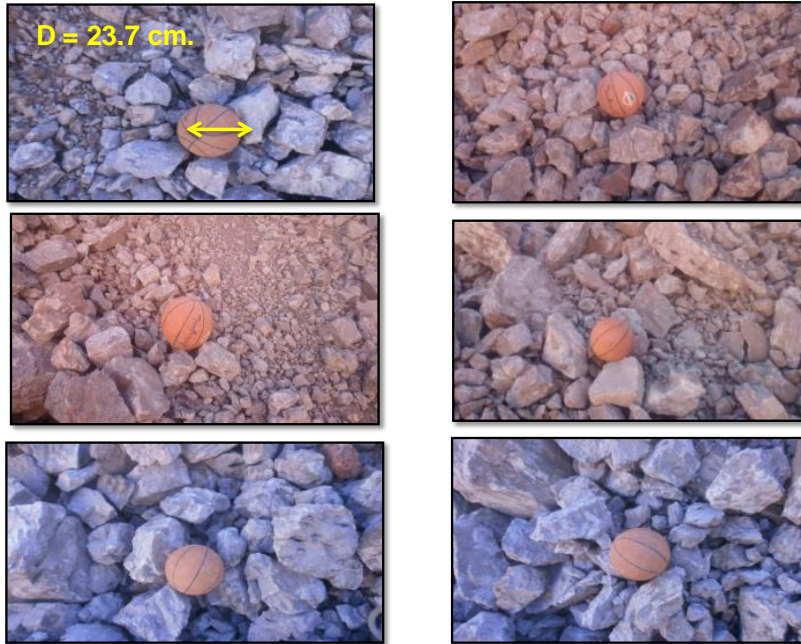




**Anexo 3. Fotografías de fragmentación - Nv.3425 606 - disparo 02**







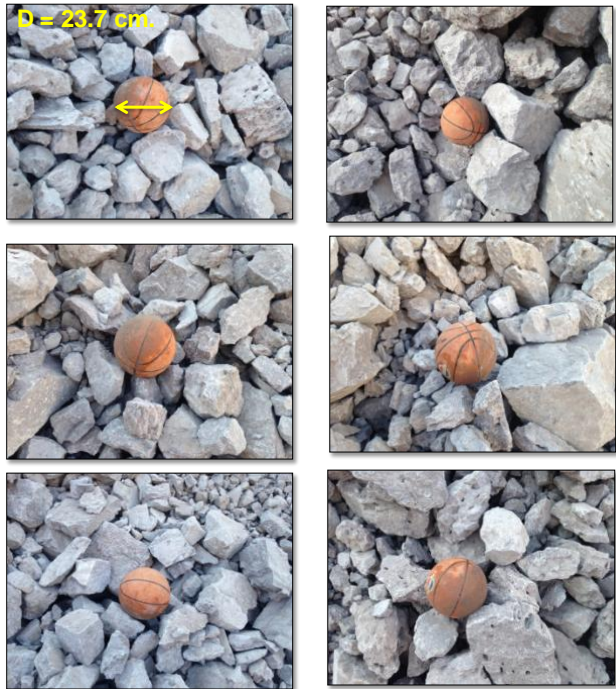
**Anexo 4. Fotografías de Fragmentación - Nv.3425 617- Disparo 03**





**Anexo 5. Fotografías de fragmentación - Nv.3425 618 - disparo 04**





**Anexo 6. Fotografías de fragmentación - Nv.3425 632 - disparo 05**







Anexo 7. Fotografías de fragmentación - Nv.3425 635 - disparo 06.





**Anexo 8. Fotografías pre y post voladura - disparo 01**





**Anexo 9. Fotografías pre y post voladura - disparo 02**

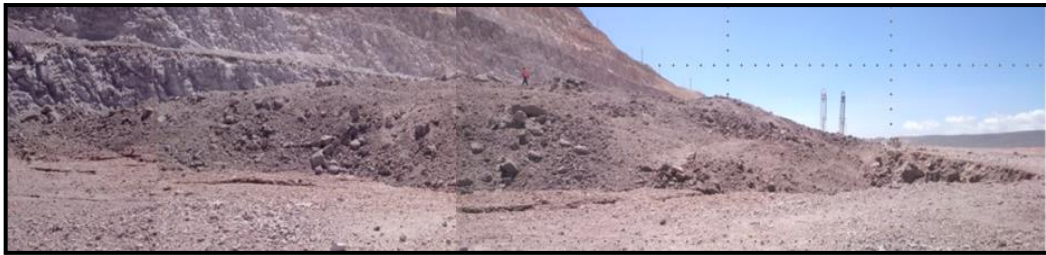




**Anexo 10. Fotografías pre y post voladura - disparo 03**



**Anexo 11. Fotografías pre y post voladura - disparo 04**



**Anexo 12. Fotografías pre y post voladura - disparo 05**



**Anexo 13. Fotografías pre y post voladura - disparo 06**

