

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Controles del desempeño de las emulsiones Fortis Advantaje TM
para la mejora de la voladura en Compañía Minera Aurífera
Santa Rosa - COMARSA**

**Para optar el título profesional de:
Ingeniero de Minas**

Autor:

Bach. Christian Edwin DEUDOR COSME

Asesor:

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA

Cerro de Pasco - Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Controles del desempeño de las emulsiones Fortis Advantaje TM
para la mejora de la voladura en Compañía Minera Aurífera
Santa Rosa - COMARSA**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Ing. Toribio GARCÍA CONTRERAS
PRESIDENTE

Mg. Edwin Elías SÁNCHEZ ESPINOZA
MIEMBRO

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería de Minas
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N°041-JUIFIM-2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bachiller: Christian Edwin, DEUDOR COSME

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

**CONTROLES DEL DESEMPEÑO DE LAS EMULSIONES FORTIS ADVANTAJE
TM PARA LA MEJORA DE LA VOLADURA EN COMPAÑÍA MINERA
AURIFERA SANTA ROSA - COMARSA**

Asesor:

Mg. Nelson, MONTALVO CARHUARICRA

Índice de Similitud: 03%

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 03 de febrero 2024

.....
Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO
JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

C.c.
Archivo

DEDICATORIA

A mi querida abuela, fuente de inspiración y cariño incondicional. A mis padres, cuyo esfuerzo y apoyo han sido el faro que ilumina mi camino. Este trabajo es un tributo a sus valores, que han sido la fuerza motriz detrás de mi trayectoria académica.

Las lecciones imperecederas de mi abuela y el respaldo incansable de mis padres son la esencia que impulsa cada página de esta tesis. Agradezco a Dios por brindarme la fortaleza en los momentos desafiantes.

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a mi asesor, por su excepcional orientación y apoyo a lo largo de esta investigación. Su dedicación y perspicacia han sido esenciales para dar forma a este trabajo.

A los ingenieros y docentes de la facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión por sus enseñanzas a lo largo de los cinco años de mis estudios profesionales.

Esta tesis es un reconocimiento sincero a aquellos que han sido los cimientos sólidos de mi existencia.

RESUMEN

La tesis se centra en abordar los desafíos que enfrenta el departamento de perforación y voladura de la mina COMARSA al emplear el explosivo ANFO. Se propone la utilización de emulsiones gasificantes Fortis Advantage TM como alternativa para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y mitigar impactos ambientales. El estudio se llevará a cabo en las instalaciones de COMARSA, ubicadas en Cerro Pampa Larco, a 3500 metros sobre el nivel del mar, con un enfoque en el periodo de julio a diciembre de 2022. Los objetivos incluyen evaluar resultados de velocidad de detonación, grado de fragmentación y comportamiento de vibraciones al utilizar emulsiones Fortis Advantage TM. La investigación busca contribuir al conocimiento sobre el uso de estas emulsiones en la minería, con potenciales beneficios para la productividad, costos operativos, seguridad y medio ambiente.

Palabras clave: Emulsiones gasificantes, eficiencia operativa, Fortis Advantage.

ABSTRACT

The thesis focuses on addressing the challenges faced by the drilling and blasting department of the COMARSA mine when using the ANFO explosive. The use of Fortis Advantaje TM gasifying emulsions is proposed as an alternative to improve operational efficiency, reduce costs and mitigate environmental impacts. The study will be carried out at the COMARSA facilities, located in Cerro Pampa Larco, 3500 meters above sea level, with a focus on the period from July to December 2022. The objectives include evaluating detonation velocity results, degree of fragmentation and vibration behavior when using Fortis Advantaje TM emulsions. The research seeks to contribute to knowledge about the use of these emulsions in mining, with potential benefits for productivity, operating costs, safety and the environment.

Keywords: Gasifying emulsions, operational efficiency, Fortis Advantaje.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito minero, la voladura se erige como un proceso crucial, siendo el explosivo ANFO el empleado en la mina COMARSA. Sin embargo, su uso conlleva desafíos significativos, como la producción de gases tóxicos y una fragmentación inadecuada, afectando la productividad y el medio ambiente. Ante estos inconvenientes, surge la propuesta de emplear emulsiones gasificantes Fortis Advantaje TM, un innovador material explosivo que promete mejorar la eficiencia de las voladuras. Este enfoque se presenta como un caso de estudio en COMARSA, con el objetivo de optimizar la carga explosiva, mejorar la eficiencia operativa y económica, y fortalecer los estándares de seguridad y medio ambiente en las operaciones mineras. La investigación delimita su alcance espacial a las instalaciones de COMARSA y temporalmente a un semestre, con el propósito de evaluar los controles de voladura al utilizar las emulsiones propuestas. La tesis se justifica por su contribución al conocimiento en el uso de emulsiones gasificantes en minería, con la aspiración de impactar positivamente en la industria y el medio ambiente.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Planteamiento del problema.	1
1.2.	Delimitación de la investigación.	2
1.2.1.	Delimitación espacial	2
1.2.2.	Delimitación temporal	2
1.3.	Formulación del problema.....	3
1.3.1.	Problema General	3
1.3.2.	Problema Específicos	3
1.4.	Formulación de Objetivos.	3
1.4.1.	Objetivo General	3
1.4.2.	Objetivos Específicos	3
1.5.	Justificación de la Investigación.....	4
1.6.	Limitaciones de la investigación.	4

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.	5
2.2.	Bases teóricas científicas.	8
2.2.1.	Perforación	8
2.2.2.	Voladura	12
2.2.3.	Accesorios de voladura.....	13
2.2.4.	Explosivos	20
2.3.	Definición de términos conceptuales.....	28
2.4.	Enfoque filosófico – Epistémico	31

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.	32
3.2.	Nivel de investigación.	32
3.3.	Característica de la investigación.	33
3.4.	Método de investigación.....	33
3.5.	Diseño de investigación.....	34
3.6.	Procedimiento del muestreo	34
3.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	34
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	35
3.9.	Orientación ética.....	35

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	36
4.1.1.	Aspectos generales de la mina.....	36

4.1.2. Minería	45
4.1.3. Emulsiones Gasificante Fortis TM Advantage	48
4.1.4. Trabajo de campo	50
4.1.5. Controles en los productos para la preparación del Fortis Advantage	50
4.1.6. Controles en el desempeño del producto final	53
4.2. Discusión de resultados.	76

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Oxidante, combustible, sensibilizante para cada explosivo	27
Tabla 3: Coordenadas geográficas	37
Tabla 4: Densidades de copa finales en campo	52
Tabla 5: Cuadro resumen de fragmentación obtenida.....	56
Tabla 6: Porcentaje de tamaño de fragmentos promedio durante el mes de octubre	57
Tabla 7: Porcentaje de tamaño de fragmentos en la pila pry 157-tajo clarita	59
Tabla 8: Porcentaje de tamaño de fragmentos en la pila pry 159-tajo Clarita	64
Tabla 9: Porcentaje de tamaño de fragmentos en la pila pry 15-tajo seductora.....	67
Tabla 10: Porcentaje de tamaño de fragmentos en la pila pry 17 n427-tajo seductora.	70
Tabla 11: Resultados de los porcentajes de fragmentación obtenida en octubre por tipo de fragmento.....	74
Tabla 12: Resumen de los registros de monitoreo de vibraciones	75
Tabla 13: Norma Española UNE-381-93	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes principales de una perforadora rotativa	12
Figura 2: Sistema de iniciación	13
Figura 3: Detonadores eléctricos.....	14
Figura 4: Detonadores no eléctricos.....	15
Figura 5: Detonadores electrónicos.....	15
Figura 6: Cordón detonante.....	16
Figura 7: Rele de micro retardo	17
Figura 8: Multiplicadores	17
Figura 9: Mecha lenta.....	18
Figura 10: Explosores eléctricos	19
Figura 12: Sistema de iniciación no eléctrica	20
Figura 13: Agentes explosivos secos con base Nitrato Amónico	23
Figura 14: Nitrato de Amonio	24
Figura 15: Variación de la Energía termodinámica y Velocidad de detonación del ANFO con el contenido de petróleo.....	25
Figura 16: Agentes explosivos acuosos producidos a partir del NA	26
Figura 17: Estructura del ANFO Pesado.....	27
Figura 18: Ubicación geográfica del distrito de Angasmarca.....	37
Figura 19: Parámetros geotécnicos Comarsa	47
Figura 20: Medición de PH con la que se prepara la solución gasificante	51
Figura 21: Toma de densidades al lote de emulsión	51
Figura 22: Densidad obtenida al producto Fortis Advantage.....	52
Figura 23: Medición de densidades en campo	53

Figura 24: Velocidad de detonación VOD en el Nv 420 Tajo Clarita, VOD = 5124.6 m/s	55
Figura 25: Curva de fragmentación del mes de octubre. P80: 4.9cm	56
Figura 26: Curva de fragmentación en el proyecto 157 Nv 450 Tajo Clarita, P80: 6cm	58
Figura 27: Fragmentación a nivel de taco en el Proy 157, Tajo Clarita. La pelota tiene un diámetro de 17.2 cm	59
Figura 28: Curva de fragmentación en roca suave en el Pry 157, Tajo Clarita P80= 2.9cm	60
Figura 29: Fragmentación a nivel de taco en roca suave Pry 157 Tajo Clarita, diámetro de pelota =17.1cm	61
Figura 30: Curva de fragmentación en roca dura en el Proy 157 Tajo Clarita, P80= 7.6 cm	61
Figura 31: Fragmentación a nivel de taco en roca dura en el Proy 157, diámetro de pelota =17.1cm.....	62
Figura 32: Diseño de malla de voladura en el proyecto 159 igual a 5.5m x 5.5m y 4.2mX4.2m.....	62
Figura 33: Curva de fragmentación en el proyecto 159 Nv 420 Tajo Clarita, En la zona de Minado.....	63
Figura 34: Fragmentación durante el minado en el Proy 159 Tajo Clarita. La pelota tiene un diámetro de 17.2 cm	63
Figura 35: Toma n 1 de muestras en el frente de minado pyt 159 tajo Clarita	65
Figura 36: Toma N° 2 de muestras en el frente de minado pyt 159 tajo Clarita.....	65
Figura 37: Diseño de malla de voladura en el proyecto 15 Nv 435 Tajo Seductora igual a 3.8m x 3.8m	66

Figura 38: Curva de fragmentación en el proyecto 15 Nv 435 Tajo Seductora.....	66
Figura 39: Pila Volada del proyecto 15 Nv 435 en el Tajo Seductora.....	68
Figura 40: Toma de muestras de fragmentación en la pila volada del proyecto 15.....	68
Figura 41: Fragmentación durante el minado en el Proy 15 Nv 435 Tajo Seductora. La pelota tiene un diámetro de 17.2 cm.....	69
Figura 42: Diseño de malla de voladura en el proyecto 17 Nv 427 Tajo Seductora igual a 3.8m x 3.8m	69
Figura 43: Curva de fragmentación en el proyecto 17 Nv 427 Tajo Seductora.....	70
Figura 44: Fragmentación Gruesa disparo 17 Nv 427 Tajo Seductora. P80 en zona de gruesos: 10.7cm.....	72
Figura 45: Fragmentación gruesa en zona de taco en el disparo 17 Nv427 Tajo Seductora, diámetro de pelota: 17.2cm	72
Figura 46: Fragmentación Fina disparo 17 Nv 427 Tajo Seductora, P80 en zona de fino: 2.8cm	73
Figura 47: Fragmentación Fina en zona de taco en el disparo 17 Nv 427 Tajo Seductora, diámetro de pelota: 17.2cm	73
Figura 48: Porcentaje de tamaño de fragmentos	74
Figura 49: Calibración de camiones en campo	76
Figura 50: Se observa que la perforadora del lado izquierdo perfora en ángulo a diferencia de la perforadora en el lado derecho.....	77

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema.

Bien sabemos que entre las labores de minería de mayor importancia podemos identificar a la voladura entre las principales como parte de la estrategia de minado en tanto proceso unitario.

Entre sus objetivos principales se encuentra asegurar un material fragmentado a niveles óptimos tanto a nivel operativo, así como viables en términos económicos que se pueda expresar en una explotación con costos eficientes, además de considerar el posible impacto en las inmediaciones de las operaciones.

En ese sentido, el departamento de perforación y voladura de la mina COMARSA, viene empleando en la voladura de los tajos el explosivo denominado ANFO la cual tiene inconvenientes como: producción alta de gases tóxicos, una fragmentación no adecuada, proyección de material alta, lo que redundaría en la productividad, en los costos, la seguridad y el medio ambiente.

Viendo estos inconvenientes se elaboró la propuesta de emplear un nuevo tipo de material emulsionado a granel que tiene la propiedad de responder sensiblemente in-situ mediante el uso de gasificación al momento de ser impulsada a los taladros. Este material es denominado emulsiones gasificantes Fortis Advantage TM, con la cual se piensa mejorar el rendimiento de la columna explosiva en la voladura.

Partiendo de este caso se tuvo a bien proponerlo como caso estudio en la Empresa Aurífera Santa Rosa (COMARSA) para mejorar el rendimiento de la carga explosiva cuando se realiza la voladura de los tajos.

1.2. Delimitación de la investigación.

1.2.1. Delimitación espacial

El caso de estudio se realizará en las instalaciones de la COMPAÑÍA MINERA AURIFERA SANTA ROSA (COMARSA). Cuyas operaciones se ubican en la localidad denominada Cerro Pampa Larco, este emplazamiento minero se encuentra a una altitud de 3500 metros sobre el nivel del mar. Así mismo, se encuentra ubicado a 11,5 kilómetros del pueblo de Angasmarca, que es parte del distrito del mismo nombre, que pertenece a la municipalidad provincial de Santiago de Chuco, en la región de La Libertad.

1.2.2. Delimitación temporal

Para poder realizar debidamente este estudio se estima que será necesario contar con un periodo de tiempo de un semestre el que será entre julio y diciembre del año 2022.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema General

¿Qué controles podemos determinar al usar las emulsiones Fortis Advantaje TM durante la voladura, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA)?

1.3.2. Problema Específicos

- a. ¿Qué resultados se obtuvieron de la VOD, del grado de fragmentación al usar las emulsiones Fortis Advantaje TM durante la voladura, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA)
- b. ¿Cuál fue el comportamiento de las vibraciones durante la voladura al usar emulsiones Fortis Advantaje TM en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. - COMARSA?

1.4. Formulación de Objetivos.

1.4.1. Objetivo General

Determinar los controles de voladura al usar las emulsiones Fortis Advantaje TM durante la voladura, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA).

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Determinar los resultados de la VOD y del grado de fragmentación al usar las emulsiones Fortis Advantaje TM durante la voladura, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA).
- b. Determinar el comportamiento de las vibraciones durante la voladura al usar emulsiones Fortis Advantaje TM en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA).

1.5. Justificación de la Investigación.

La investigación nos permitirá contribuir al desarrollo de los conocimientos actuales en el uso de las emulsiones gasificantes Fortis Advantaje TM en minería.

La tesis está orientada básicamente a aspectos muy importantes como: la voladura con emulsiones gasificantes Fortis Advantaje TM, resultados del análisis de la fragmentación, de la velocidad de detonación, del registro de vibraciones con el uso de las emulsiones gasificantes Fortis Advantaje TM, y sobre todo estudiar los resultados que se obtendrán en la mina COMARSA al emplear el método emulsionaste gasificado. En ese sentido, se compartirá esta propuesta de un nuevo método para las operaciones de voladura, debido a que COMARSA ha sido un factor relevante al momento de elevar los índices de productividad y en el uso eficiente de insumos con la consiguiente mejoría en costos operativos, obteniendo un impacto positivo en la seguridad y la protección del medio ambiente.

1.6. Limitaciones de la investigación.

Referente a algunas limitaciones que podríamos encontrar en el desarrollo de la investigación no hemos encontrado salvo en tiempo programado para su desarrollo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.

Dentro de los trabajos que se realizaron previamente se tuvo acceso a los siguientes:

Primero

La tesis “EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA EN LA VOLADURA DE ROCAS DE LA MINERALAS BAMBAS – COTABAMBAS, APURÍMAC” de (QUISPE, 2018) tiene como objetivo mejorar los resultados de la voladura al usar emulsiones gasificadas en la mina las Bambas.

Como conclusiones muestra lo siguiente:

- Se logró demostrar que la emulsión Fortis extra 65/35 es superior en comparación con la emulsión Fortis Advantage en relación a su VOD en un 16%.
- Con el uso de la emulsión Fortis Extra 65/35, conlleva a que la limpieza del frente se mejoró de 10 a 30 %.

- En cuanto a la producción de gases nitrosos se redujo a un 0.12 % su generación.
- También se tuvo un ahorro económico al usar la emulsión Fortis Extra 65/35 de 16.00 \$ por taladro en material duro sin agua y de 30.00 \$ en material duro con agua.

Segundo

La tesis “ANALISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LA VOLADURA EMPLEANDO EMULSION GASIFICADO Y HEAVY ANFO 73 GASIFICADO – COMPAÑIA MINERA ANTAMINA – ANCASH - 2018.” de (GOMEZ, 2019) el objetivo es el de reemplazar la emulsión Heavy Anfo 64 y Heavy Anfo 73 por Emulsiones Gasificada para mejorar la voladura.

Como conclusión se llegó a lo siguiente:

- La velocidad de detonación fue mayor que las otras emulsiones llegando a un 2.6 % mayor (5856.8 m/s), la fragmentación se redujo el P80 a 16.6 cm en promedio, en lo económico el costo se redujo en 3.11 % por tonelada, no se generó gases nitrosos después de la voladura.

Tercero

La tesis “IMPLEMENTACIÓN DE EMULSIONES ENERGÉTICAS FORTIS EXTRA EN ROCA TRAQUITA” de (SUEROS, 2021) su objetivo fue al usar la Emulsión Fortis Extra conocer sus ventajas técnicas, económicas.

Las conclusiones fueron:

Al usar la emulsión Fortis Extra se mejoró la voladura en cuanto al grado de fragmentación.

El rendimiento de la voladura mejoro en un 20% más, la excavación mejoro un 14.8 %, la velocidad de detonación mejoro llegando en promedio a 5698 m/s.

La malla de perforación paso a tener 8.20 m x 9.50 m logrando un ahorro de 11.50 % por cada millón de toneladas disparadas.

Cuarto

La tesis “Propuesta del uso de emulsión gasificada en el carguío de taladros para reducir los costos en voladura en una mina a tajo abierto con depósitos tipo Skarn, Arequipa 2020” de (ALCOCER, SALAS, 2020) como objetivo plantea proponer el uso de emulsiones gasificada para poder reducir costos en la voladura.

Como conclusión se tiene:

- Se realizo un diagnóstico de la voladura en cuanto al explosivo usado Fortis Max 60, teniendo en cuenta diferentes tamaños de tacos usados y sus costos.
- Al realizar la comparación entre la emulsión Fortis Mex 60 que se usa actualmente con las emulsiones Fortis Advantaje de diferentes densidades se vio que los costos disminuyen de acuerdo a la altura del taco.
- Al usar emulsiones Fortis Advantaje 100 de 1.0 gr/cc, con taco de 6 m. nos da un ahorro de 11.0 % al mes en la voladura lo cual es muy significativo.

Quinto

La tesis “Análisis comparativo y evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y Emulsión Fortis Advantaje 100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del nivel 4336-Sociedad Minera El Brocal Colquijirca 2018” de (BERAUN, 2019), como objetivo se tuvo la evaluación de

dos tipos de emulsión el Heavy Anfo y el Fortis Advantaje 100 en cuanto a sus costos, fragmentación, seguridad y medio ambiente.

Como conclusión se tuvo que:

- Durante las pruebas realizadas se tuvo ahorros en explosivos de 4.64 \$/tal al usar Fortis Advantaje, de 8.45 \$/tal al usar HA 45/55 y de 10.93 \$/tal al usar HA64 en taladros con agua.
- En cuanto a la fragmentación se mejoró un 26 % en el P80 a un costo de 4.94 \$/tal.
- Al usar la emulsión Fortis Advantaje se logró optimizar la voladura tanto en la parte logística como administrativa.
- La VOD son significativamente mayores al usar el Fortis Advantaje 100 a diferentes densidades lo que significa un mejor trabajo del explosivo

2.2. Bases teóricas científicas.

2.2.1. Perforación

En un contexto minero, este procedimiento tiene por finalidad excavar orificios con un determinado diámetro, así como con una longitud específica para que después pueden ser saturados con material explosivo para de esta manera poder llevar a cabo una voladura con los parámetros adecuados, que tendrá como objetivo fragmentar el cuerpo de rocas del área circundante. (Instituto Geológico y Minero de España, 1987).

Métodos de perforación

Entre las formas que se tiene para realizar perforaciones están las siguientes:

a) Mecánicas:

Por Rotopercusión.

Por Rotación.

Por Percusión.

b) Térmicas:

Por congelamiento.

Por líquido caliente.

Por plasma.

Por sopletes o lanza térmica.

c) Hidráulicas:

Por cavitaje.

Por chorro de agua.

Por erosión.

d) Sónicas:

Vibraciones de frecuencia alta.

e) Químicas:

Disolución.

Micro voladura.

f) Eléctricas:

Inducciones magnéticas.

Arco eléctrico.

g) Sísmicas:

Rayos Láser.

h) Nucleares:

Fisión.

Fusión.

Equipos de perforación

- **Perforación manual:** “Este procedimiento consiste en la operación de equipamiento ligero de manejo manual directamente por un perforista. Su empleo está enfocado en labores de menor alcance y cuyas dimensiones operativas requieren el uso de métodos que no requiera el uso de mayores recursos técnico o económicos. (LOPEZ JIMENO, 1987)
- **Perforación mecanizada:** Procedimiento comúnmente empleado en labores de minería subterránea, su principal carácter se basa en la disposición de equipamientos o **estructuras** para poder montar o desplazar el equipo de perforaciones, que se cuenta con un movimiento mecánico específico para su trabajo, así mismo por medio de este método es posible que el operario pueda tener acceso al control de toda la operación mediante la vigilancia de todos los parámetros operativos de la perforación a partir de su ubicación especialmente adaptada para realizar sus labores cómodamente.

En cuanto a los equipamientos o estructuras que soportan el taladro, éstas permiten el desplazamiento de equipamiento a través de la labor facilitando de esta manera un trabajo eficiente para lo cual se debe contar con mecanismos de rodamientos neumáticos o por orugas, así como funcionamiento motorizado o con desplazamiento de remolque.

Métodos mecánicos de perforación: Se trata de los sistemas de roto percusiones y lo de rotación.

Métodos roto percutivos: Este método se caracteriza por que pueden ser empleados sobre cualquier tipo de superficie rocosa, y es por ello que se los elige como el método usual para realizar perforaciones de pozos.

Su acción mecánica consiste en aprovechar un el continuo impacto que puede generar el osito de acero al golpear el útil cuya función es transferir la energía del impacto hacia el fondo del orificio mediante la boca del taladro. Este tipo de equipamiento se pueden clasificar de dos maneras que dependen de la colación del martillo, si es en la cabeza o en el fondo.

Martillo en cabeza: “La característica específica de este tipo de martillo consiste en que tanto la percusión y rotaciones se llevan a cabo fuera del orificio, pero su acción y fuerza es transmitida mediante las varillas y la espiga hasta el fondo del orificio perforado. Este mecanismo puede tener un funcionamiento por acción neumática o hidráulica”. (Instituto Geológico y Minero de España, 1987)

Martillo en fondo: “En el caso de este tipo de martillo la acción específica del cabeza percutor tiene en contacto directo con la boca del orificio perforado, pero la rotación se realiza fuera de orificio de perforación. Para el mecanismo del pistón necesita tener un funcionamiento por acción únicamente neumática, en cambio para la acción de rotación puede emplearse mecanismos acción neumática o hidráulica”. (Instituto Geológico y Minero de España, 1987)

Métodos rotativos: En este tipo de sistemas podemos distinguir claramente dos mecánicas de acción específica dependiendo el medio de acción que empleen para realizar la penetración. Por un lado, puede tratarse de un mecanismo de trituración mediante triconos. O por otro, usando un mecanismo de corte mediante bocas específicamente diseñadas.

En el primer caso el mecanismo de perforación está destinado a un material con una calidad de dureza de nivel medio hasta alto. Y el segundo caso está destinado para metérosle que presente una calidad blanda de roca. (Instituto Geológico y Minero de España, 1987)

Parámetros de la roca

Se trata de las características principales que presenta el cuerpo rocoso y los cuales se debe tener en consideración para que el material detonante pueda ejercer su acción de manera óptima. A continuación, se los presenta:

Son parámetros donde el explosivo tiene que adecuarse a las características de la roca, tenemos:

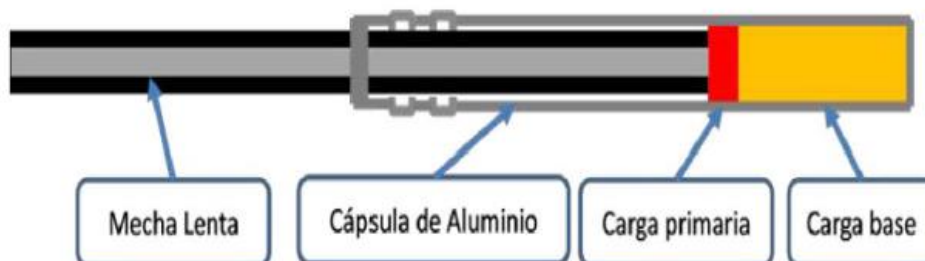
Condiciones geológicas, propiedades elásticas o de resistencia dinámica de las rocas, propiedades físicas, parámetros controlables (Instituto Geológico y Minero de España, 1987).

2.2.3. Accesorios de voladura

Sistema de iniciación, Detonadores ordinarios

Se trata de los mecanismos que sirven para la iniciación de la secuencia de detonaciones. Por sus características deben tener el mecanismo de mecha lenta. Esta será introducida en la parte abierta de la cápsula detonante y será asegurada por medio de un encapsulado mecanizado para evitar que la mecha pierda contacto con el detonador al momento del inicio de la secuencia. (ENAEX, s.f.).

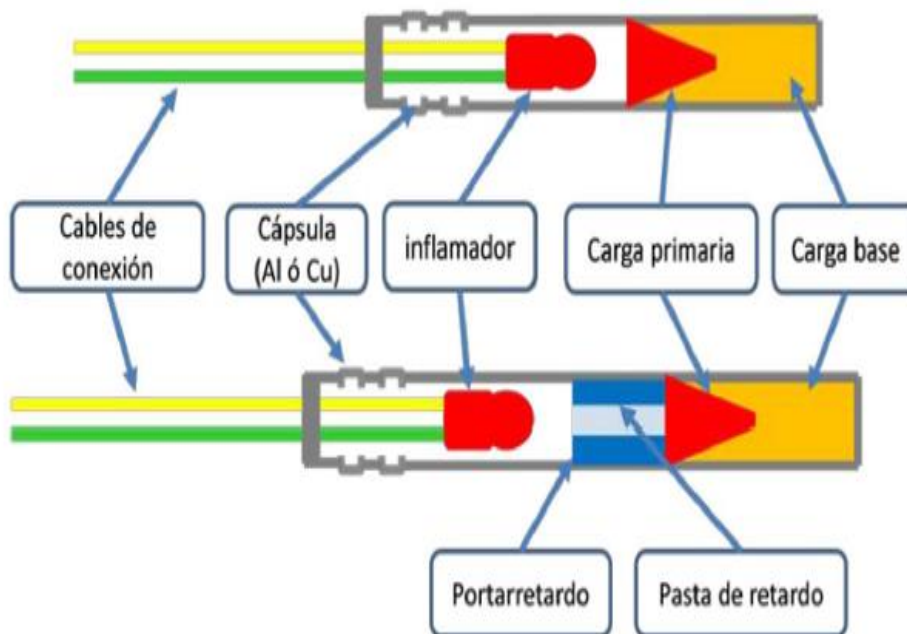
Figura 2 Sistema de iniciación



Detonadores eléctricos

Es el mecanismo que activa la detonación empleando un dispositivo eléctrico. Este mecanismo se activará mediante una cerilla de activación pirotécnica que sirve para hacer circular la carga eléctrica que propiciará el inicio de la explosión.

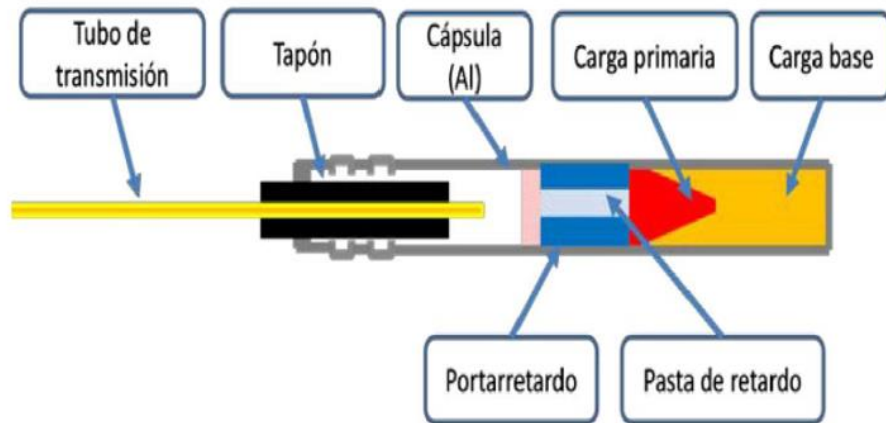
Figura 3 Detonadores eléctricos



Detonadores no eléctricos

Se trata de los mecanismos que no usa ningún tipo de iniciador mediante una carga eléctrica. En este caso el mecanismo de inicio se produce mediante un choque de onda de energía baja que transfiera la carga al detonador pirotécnico, a través de del tubo de transmisión.

Figura 4 Detonadores no eléctricos



Detonadores electrónicos

“En comparación con los mecanismos de iniciación mencionados anteriormente estos sistemas son más modernos y cuentan con la última tecnología disponible para métodos de iniciación de cargas de voladura. Sin embargo, su uso no está extendido a todas las aplicaciones y se centra en labores que requieren un resultado determinado”. (ENAEX, s.f.).

Figura 5 Detonadores electrónicos



Cordón detonante

Este dispositivo es la línea de detonación, entre sus componentes principales podemos señalar su parte central en la que se ubica la carga explosiva, normalmente PETN o pentrita, este núcleo por sus características se encuentra recubierto por un protector sintético que le permita flexibilidad que puede ser teflón, nylon o PVC así mismo otra característica de su estructura debe ser su resistencia que le permita soportar entornos húmedos y abrasivos así como poder ser atado con facilidad y seguridad. (ENAEX, s.f.).

Figura 6 Cordón detonante



Relé de micro retardo

Los dispositivos retardantes de voladuras secuenciales o delays que se accionan con cordones detonantes tiene varias presentaciones y se ubican en zonas determinantes de la cadena de detonaciones con la finalidad de modificar la velocidad a la que avanza la onda de detonación que podría alcanzar los 7 mil metros por segundo y retrasarla por un tiempo hasta que recobre su velocidad normal en el siguiente sector de la cadena. El retardo normal que estos dispositivos ofrecen va desde los 5 hasta los 100 metros por segundo, así mismo estos dispositivos pueden ser

usados intercaladamente para poder combinar sus tiempos de retardo (ENAEX, s.f.).

Figura 7 Rele de micro retardo



Multiplicadores

Estos dispositivos de iniciación denominados boosters están destinados a voladuras que cuentan con cargas explosivas de sensibilidad baja como es el caso de las emulsiones, hidrogeles o el ANFO normalmente puede ser usados en su presentación a granel o encartuchados. (ENAEX, s.f.)

Figura 8 Multiplicadores



Mecha lenta

Este dispositivo de inicio consiste en una línea con capacidad de flexión que lleva un centro cargado de pólvora negra, para su protección está recubierto de forro textil y además cuenta con un recubrimiento sintético adicional que le da propiedades impermeables, su principal función es transmitir controladamente el dardo o llama de inicio. (ENAEX, s.f.)

Figura 9 Mecha lenta



Otros accesorios no explosivos

Explosores eléctricos

Cuenta con un poder de detonación superior al conjunto de todo el circuito activado, específicamente un amperio mayor de potencia que pueda garantizar una detonación completa. Normalmente se presenta en la forma de Dinamo eléctrico condensador.

Figura 10 Explosores eléctricos



Óhmetros

Este dispositivo tiene la función de realizar las mediciones de resistencias, por ello se hace necesario su utilización en labores de voladura con método eléctrico, debido a que le facilita al artillero la medición y poder comprobar el estado del circuito de las voladuras, y de esta manera poder ubicar en los detonadores algunos defectos en su secuencia miento y realizar la medición de los aislamientos y derivaciones.

Figura 11 Óhmetros



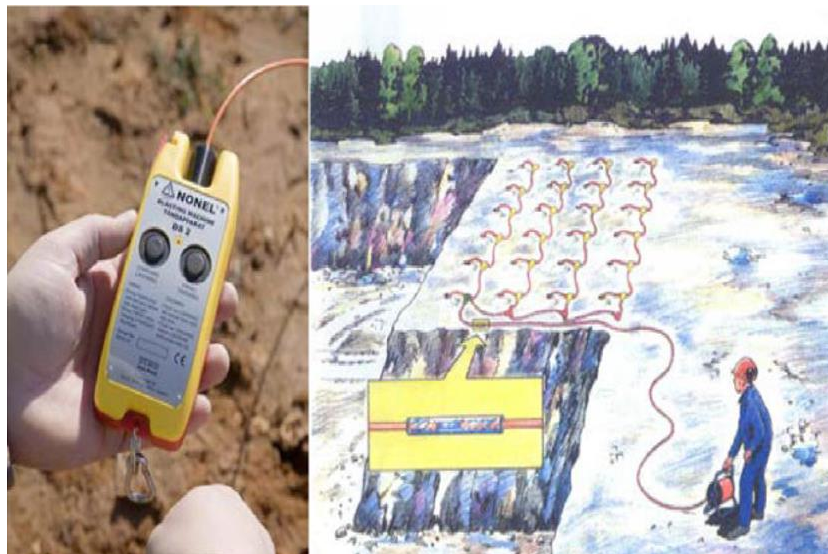
Sistema de iniciación no eléctrica

Para llevar adelante labores de voladuras con métodos no eléctricos se debe contar con dispositivos de iniciación que cuenten con explosivos cuyo funcionamiento sea sin carga eléctrica.

Para este tipo de mecanismos es necesario disponer la energía adecuada en uno de los extremos de la tubería que transmitirá la carga para iniciar la detonación de forma correcta.

La fuente de esta energía puede ser diversa en algunos casos una chispa iniciadora de naturaleza eléctrica o una pequeña carga energética expulsada por un pistón de caza.

Figura 12 Sistema de iniciación no eléctrica



2.2.4. Explosivos

Podemos realizar una categorización de los materiales de explosión química de origen industrial en dos categorías dependiendo de material onda de choque en términos de velocidad, de la siguiente manera:

- a. Materiales de explosivos de acción rápida y detonante: Con una velocidad que puede alcanzar los 2.000 hasta los 7.000 metros por segundo.
- b. Materiales de explosivos de acción lenta y deflagrante: Con una velocidad que puede alcanzar niveles por debajo de 2.000 metros por segundo]”
(EXSA, s.f.).

Los deflagrantes: “dentro de este grupo de compuestos están comprendidos los propulsores de cohetes y artillería, material pirotécnico y pólvoras. En labores mineras no se registran aplicaciones concretas para este tipo de materiales salvo para material rocoso ornamental. (EXSA, s.f.).

Los explosivos detonantes: este tipo de materiales se pueden encontrar en dos grupos Primarios y Secundarios dependiendo en qué se apliquen.

Los Primarios: cuentan con un nivel alto de sensibilidad y carga energética, sus aplicaciones se concentran en iniciación de los explosivos secundarios. Normalmente, en forma de multiplicadores y detonadores como hexolita, pentrita y fulminato de mercurio. (EXSA, s.f.).

Los Secundarios: “estos materiales son los usados para arrancar rocas, sin embargo, su menor capacidad sensible en comparación de los primarios su trabajo útil es considerablemente mayor. Además, se puede tratar de materiales a base de mezclas explosivas o no y su mayor importancia es que su elaboración supone un menor coste productivo.

Técnicamente, presenta como característica un mejor rendimiento en los balances de oxígeno que se obtienen. Además, se pueden aprovechar las propiedades y características que ofrecen los elementos que componen la mezcla y de esta manera aprovechar mejores parámetros de resistencia hidroactiva, potencia, densidad y sensibilidad. (EXSA, s.f.)

Los explosivos industriales: para el caso de aplicaciones civiles podemos distinguir dos categorías:

a) Agentes explosivos

Estos compuestos se caracterizan por no llevar agentes propiamente explosivos, con algún caso excepcional. Los más importantes son:

- HIDROGELES
- ANFO PESADO
- EMULSIONES
- ALANFO
- ANFO (FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., 2018)

b) Explosivos convencionales

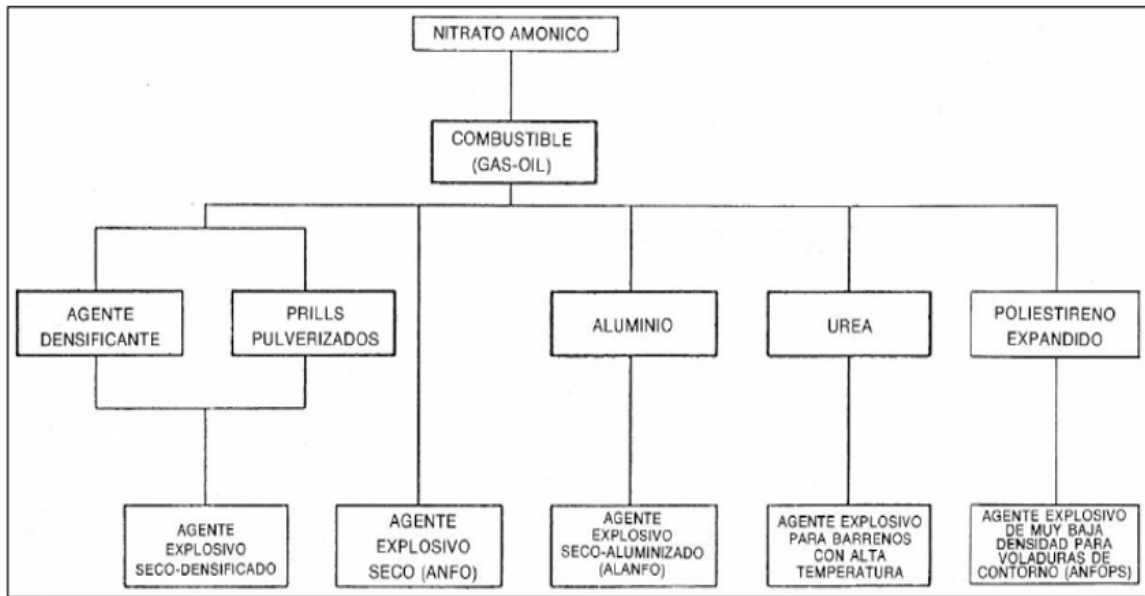
Para fabricar estos compuestos necesariamente se debe contar con agentes propiamente explosivos, los cuales actuarán como medios para sensibilizar las mezclas. Las principales presentaciones son:

- DE SEGURIDAD
- PULVERULENTOS
- GELATINOSOS (FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., 2018)

c) Agentes explosivos secos

Estos compuestos están hechos a base de Nitrato Amónico y se caracterizan por no ofrecer propiedades sensibles al detonador además de no contener elementos húmedos o a base de agua. (FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., 2018).

Figura 13 Agentes explosivos secos con base Nitrato Amónico



Nitrato Amónico

Se trata de un compuesto salino de características inorgánicas de coloración blanca, su fórmula química es NH_4NO_3 . En forma aislada no presenta propiedades explosivas debido a que solo cuando entra en contacto con componentes combustibles que desencadena una reacción violenta con un alto aporte de oxígeno. En comparación con el componente de oxígeno que presenta el aire que alcanza un 21% el Nitrato Amónico presenta un 60% de oxígeno. (ENAEX, s.f.).

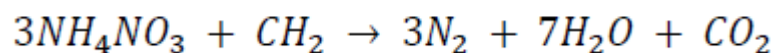
Figura 14 Nitrato de Amonio



ANFO

El Nitrato Amónico puede producir este agente de detonación al entrar en contacto con cualquier tipo de sustancias que sirva para hacer combustión. Sin embargo, entre los combustibles más utilizados se prefiere el diésel cuyo poder de potencia se destaca frente a la otros como la gasolina.

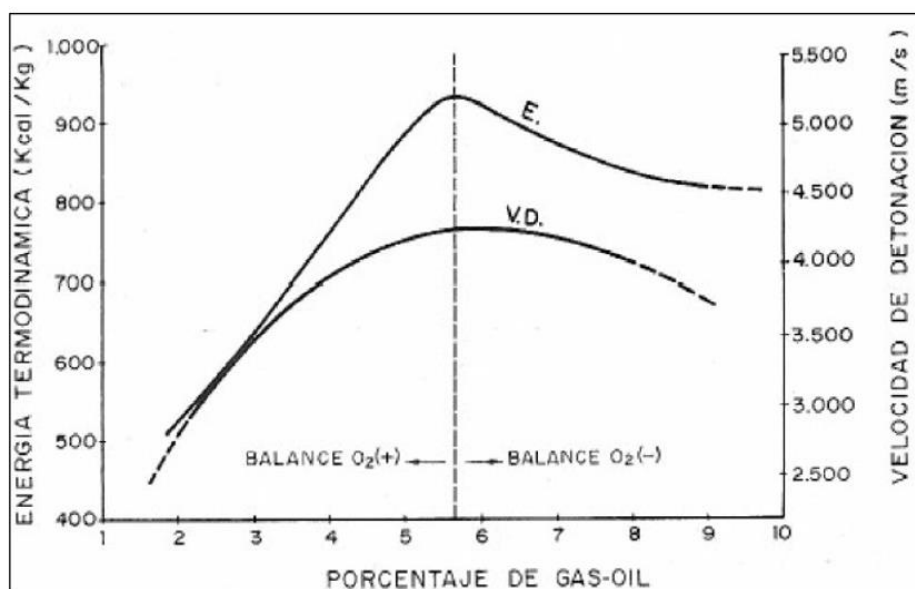
En términos de descomposición del sistema las reacio equilibrada de oxígeno está determinada por la siguiente ecuación:



De esta manera se pueden producir alrededor de 920 [kcal/kg], aunque podrían ser inferiores las opciones comerciales debido a la presencia de materiales inertes y al nivel de gases alrededor de 970 [L]. Por otro lado, una combinación estequiométrica presenta un 95,3% de Nitrato Amónico y un 5,7% de petróleo, que es el equivalente de 3,7 litros

de diésel por cada 50 [kg] de NA. (FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., 2018).

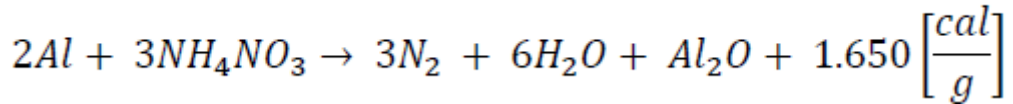
Figura 15 Variación de la Energía termodinámica y Velocidad de detonación del ANFO con el contenido de petróleo



Alanfo

Debido a que el nivel de densidades que presenta el anglo es bajo el nivel energético producido por unidades de longitud de columna también es bajo. Con la finalidad de incrementar ese nivel energético se complementa con una sustancia a base de aluminio lo que produce resultados destacables a nivel de indicadores económicos y técnicos específicamente cuando el material rocoso presenta características masivas y la perforación es económicamente alta. (FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., 2018)

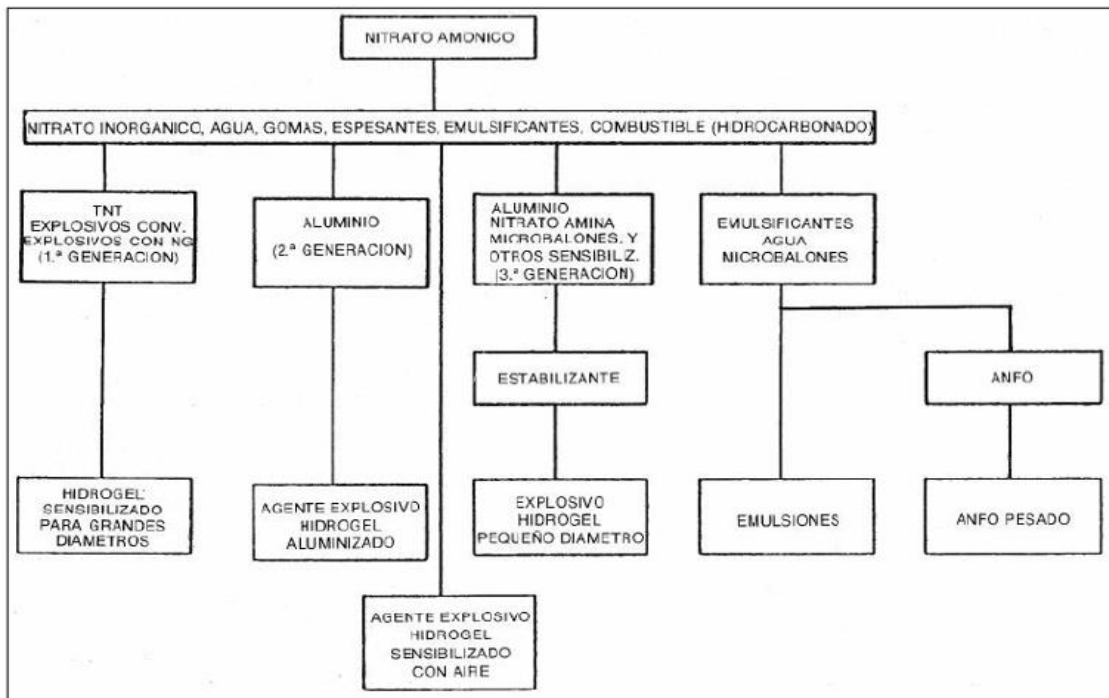
En términos dinámicos el aluminio al entrar en contacto con el nitrato amónico y la cantidad es baja la reacción se puede determinar por medio de la siguiente Ecuación:



Hidrogeles

Este tipo de agentes para explosión están compuestos por una solución acuosa con saturación de Nitrato Amónico en combinación con otros nitratos oxidantes como calcio o sodio. Comúnmente se pueden encontrar en soluciones combustibles o agentes gelatinizantes, espesantes y sensibilizantes con la propiedad de evitar la dispersión de los elementos sólidos. (EXSA, s.f.)

Figura 16 Agentes explosivos acuosos producidos a partir del NA



Emulsiones

Este tipo de agentes que tienen presencia comercial recientemente ofrecen características similares a los hidrogeles sin embargo se destacan frente a estos por su resistencia superior a entornos húmedos y al contacto

directo con el agua además de alcanzar un mayor nivel de potencia.

(FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., 2018)

Tabla 1 Oxidante, combustible, sensibilizante para cada explosivo

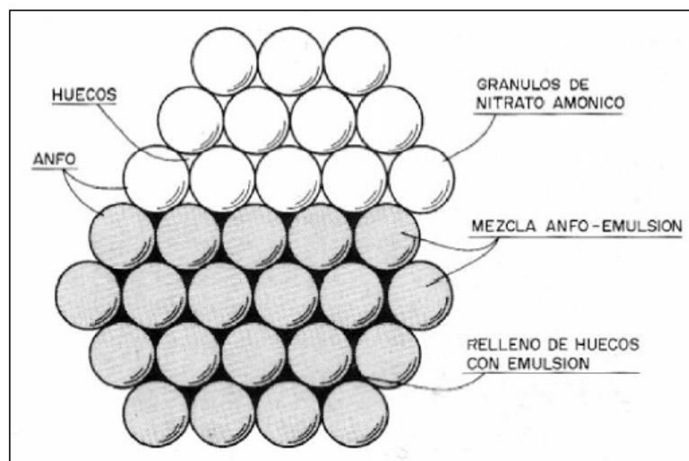
Explosivo	Oxidante	Combustible	Sensibilizante
Dinamitas	SÓLIDO Nitratos	SÓLIDO Materias absorbentes (sensibilizantes)	LÍQUIDO Nitroglicerina Gasificantes
ANFOS	SÓLIDO Nitratos	LÍQUIDO Aceites	Poros
Hidrogeles	SÓLIDO/LÍQUIDO Nitratos Soluciones salinas	SÓLIDO/LÍQUIDO Aluminio Sensibilizante	SÓLIDO/LÍQUIDO TNT NMMA, MAN Aluminio en polvo Gasificantes
Emulsiones	LÍQUIDO Soluciones salinas	LÍQUIDO Aceites Parafinas	Gasificantes

Anfo pesado

Este tipo de compuestos combina las propiedades del Anfo con las de una emulsión de esta manera puede generar un mayor nivel de potencia aprovechando las características estructurales del Anfo para potenciar su fuerza. Específicamente, consiste en copar los intersticios que deja el Anfo con la sustancia emulsionaste de esta manera se puede convierte energéticamente en una matriz de detonación altamente potente.

(FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., 2018)

Figura 17 Estructura del ANFO Pesado



El desempeño de este compuesto en términos de detonación está directamente relacionados a las cantidades de cada componente combinados, entre el desempeño característico se encuentra:

- Mayor poder energético
- Mayor nivel de sensibilidad
- Mayor impermeabilidad
- Tolerancia a las vibraciones (FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., 2018)

2.3. Definición de términos conceptuales.

Agente explosivo:

Se trata del compuesto derivado de mezclar una sustancia oxidante con una combustible, específicamente se tratan de sustancias que propiamente no tienen una reacción detonante por sí mismas, que sin embargo en contacto con el calor producen una explosión. (ENAEX, s.f.)

Detonación:

Es la reacción a nivel químico y físico que se caracteriza por una veloz expulsión de energía que en su proceso de liberación también emite gases que tiene como consecuencia elevar el nivel de temperatura, se caracteriza sobre todo por la expansión de fuerza que genera una gran presión en el entorno y en los cuerpos que lo componen. (EXSA, s.f.)

Emulsión:

Es un tipo de material explosivo que se elabora partiendo de una sustancia emulsionante de agua y aceite. Para ello la sustancia debe presentar una saturación de nitrato y aceite mineral. Así mismo, es necesario añadir una sustancia gasificante que pueda dispersar burbujas en la mezcla para que puedan actuar como elementos sensibilizantes, también se pueden añadir esferas de micro vidrio

cuando se fabrique esta sustancia que puedan cumplir la función de sensibilización. (FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., 2018)

Fly rock:

Este fenómeno es la consecuencia de un manejo de la estrategia de detonación y cada uno de los aspectos contribuye a que el material del techo se proyecte de forma no controlada. Comenzando por una carga explosiva excesiva, una mala disposición en la condonación del taladro, un diseño deficiente en las secuencias del disparo, baja calidad a nivel estructural y geológico del cuerpo rocoso. (Instituto Geológico y Minero de España, 1987)

Fragmentación:

El tamaño de los fragmentos alcance a ser distribuido de una manera determinada está sujeto a las características propias de procedimiento de fragmentación además del perfil natural de rotura que presenta el cuerpo de la roca. (EXSA, s.f.)

Longitud de Carga:

Se denomina de esta manera a la sección activa del taladro en labores de voladuras, es la parte donde se producirá la detonación y a partir de ese punto se expandirá la presión del material gasificado contra las paredes del taladro. Resulta indispensable que la carga explosiva se distribuya uniformemente sobre la extensión del taladro, conforme lo permita las condiciones de cuerpo de rocas. (REPUBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2003)

Longitud de Perforación:

Se trata de nivel sumado entre la sobre perforación y la altura del banco que debió quedar por debajo o a nivel del piso para garantizar un perfil sin

elevaciones o lomos que puedan dificultar las labores de limpieza y que deberán ser removidos con voladuras adicionales. (REPUBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, 2003)

Longitud de Perforación:

Se trata del mecanismo que da inicio a la detonación mediante la transmisión de una señal en un determinado tiempo a cada uno de los pozos. (ENAEX, s.f.)

Taco: Longitud de Perforación:

Es el compuesto o elemento inerte que se coloca sobre la carga detonante para de este modo poder lograr el confinamiento adecuado de la energía. En el caso que el taco no alcance a cubrir el rango mencionado se producirá el fenómeno fly rock que consiste en roca proyectada además de una fuga anticipada de gases, lo que representa una pérdida de energía y que repercute en un menor poder de detonación de la carga.

En entornos con agua se necesita una cantidad mayor de taco a comparación de entornos secos. (REPUBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, 2003)

Taco: Longitud de Perforación:

La propagación de una cadena de detonaciones alineadas y coordinadas para recorrer una distancia determinada en un tiempo establecido activado cada secuencia de carga en el momento programado, el tiempo que toma cubrir toda la secuencia es la velocidad de detonación.

Taco: Longitud de Perforación:

Se trata del procedimiento tridimensional en que las cargas explosivas liberan energía que generan niveles de presión dentro de los taladros hasta

concentrar toda la fuerza dinámica contra el cuerpo de roca que lo rodea y producir su fractura cuando la energía encuentre el espacio para liberarse produciendo fragmentación y desplazamiento de material. (ENAEEX, s.f.)

2.4. Enfoque filosófico – Epistémico

Este estudio se basa en un enfoque filosófico-epistémico que reconoce que el conocimiento científico no refleja directamente la realidad, sino que está influenciado por interpretaciones y teorías. Se entiende que es contingente y sujeto a revisión. Este enfoque guía la metodología del estudio, priorizando la observación sin intervención directa. Busca comprender los fenómenos en su contexto natural y fomenta la pluralidad de perspectivas y la crítica. En resumen, busca generar conocimiento válido y promover una actitud reflexiva hacia la práctica científica, reconociendo su complejidad.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.

El método elegido para elaborar este trabajo es el aplicativo debido a que es el que permite aprovechar y utilizar los resultados prácticos del conocimiento y los desarrollos teóricos en el campo de la ciencia. En ese sentido una investigación con fines aplicativos busca aprovechar los efectos prácticos de conocimiento poniendo énfasis en los hechos y sus posibles desarrollos y modificaciones mediante aplicaciones específicas en la realidad de todos los días. (SUPO, CAVERO, 2014)

3.2. Nivel de investigación.

El método elegido para elaborar este trabajo es el aplicativo debido a que es el que permite aprovechar y utilizar los resultados prácticos del conocimiento y los desarrollos teóricos en el campo de la ciencia. En ese sentido una investigación con fines aplicativos busca aprovechar los efectos prácticos de conocimiento poniendo énfasis en los hechos y sus posibles desarrollos y

modificaciones mediante aplicaciones específicas en la realidad de todos los días.
(SUPO, CAVERO, 2014)

3.3. Característica de la investigación.

Este estudio se propone investigar los controles del desempeño de las emulsiones Fortis Advantaje TM en el proceso de voladura dentro de la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA). Se examinarán los efectos de estas emulsiones en términos de velocidad de detonación (VOD), grado de fragmentación y comportamiento de las vibraciones durante las operaciones de voladura. El enfoque metodológico adoptado es de naturaleza no experimental, con énfasis en la observación de los fenómenos en su entorno natural. La muestra de estudio se compone de los tajos Clarita Nv 420 y Seductora 15, 17, dentro del ámbito operativo de COMARSA. La recolección de datos se llevará a cabo mediante guías de observación, pautas y fichas de registro, así como el uso de equipos y materiales especializados.

3.4. Método de investigación.

El método a emplear será en base al método científico apoyado por los aspectos específicos inductivo, analítico, como se señala esta metodología puede definirse como un procedimiento de sistematización para la generación de conocimiento en el ámbito de la ciencia. Partiendo del planteamiento y la identificación de un problema específico, Para luego elaborar hipótesis relevantes acorde con las necesidades del objeto de estudio que nos puedan señalar las implicancias prácticas y finalmente realiza una observación del desempeño de la hipótesis para evaluar si es aceptada o rechazada en contraste con la evidencia disponible. (VARA, HORNA, 2010).

3.5. Diseño de investigación

En este caso se optó por un diseño de perfil no experimental debido a que “este tipo de investigaciones se enfocan en estudiar fenómenos sin manipular deliberadamente las variables identificadas y metodológicamente se limita a una observación el desarrollo del fenómeno en su entorno natural con el fin de poder realizar una analizar específico”. (HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, 2014).

3.6. Procedimiento del muestreo

Población y muestra.

Población

Se decidió restringir el grupo poblacional para este estudio a las operaciones en tajos de la Empresa COMARSA.

Muestra

Se determino tomar como muestra los tajos Clarita Nv 420 y Seductora 15, 17.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnicas

Dentro de los distintos métodos que emplearemos en la ejecución de la investigación será:

- La observación
- Recopilación documental
- Entrevista no estructurada

Instrumentos

Dentro de los instrumentos tendremos:

- Guía de observación

- Guía de pautas
- Ficha de registro
- Equipos y materiales

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Durante la investigación para el procesamiento y análisis de datos seguiremos una secuencia donde en primera instancia dar a conocer el diagnóstico de cómo se realiza la voladura en la mina, para en una segunda etapa poder hacer la revisión de la bibliografía que corresponde a nuestro tema de investigación. Posteriormente procederemos a realizar la toma de datos y el secuenciamiento para recabar los resultados, con su diagnóstico respectivo. Por último, como consecuencia del contraste entre la evaluación y los resultados se elaborarán las conclusiones adecuadas.

3.9. Orientación ética

Al realizar nuestra investigación, nuestro objetivo es el de dar solución al problema planteado, pero tal explicación o resultado puede ser tan distinto si nuestra especialidad fuera diferente al del Ingeniero de Minas en otras palabras que nuestra orientación profesional sobre cierto desarrollo científico puede resultar diferente debido al punto de vista de partida de la considera. En ese sentido debe ser conscientes que tenemos miradas tan diferentes al pensar sobre la ciencia.

En nuestra investigación trataremos de acercarnos a la veracidad, honestidad, respeto por lo ajeno, conservando siempre estos principios.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

4.1.1. Aspectos generales de la mina

Ubicación

Las operaciones de la mina Santa Rosa están ubicadas en el sector del Cerro Pampa Larco. Esta unidad se emplaza a una altitud operativa de 3509 msnm. La población más cercana se encuentra a 11.5 kilómetros y es la localidad de Angamarca. Políticamente pertenece a la jurisdicción distrital de Angamarca y provincial de Santiago de Chuco, así mismo se encuentra a 164 kilómetros de distancia de la capital departamental que es la ciudad de Trujillo, en el departamento de La Libertad.

En términos geográficos la mina Santa Rosa se ubica entre los cuadrantes siguientes:

Tabla 3 Coordenadas geográficas

Coordenada UTM	Coordenada UTM
830,000 E	9'105,000 N
830,000 E	9'103,000 N
828,000 E	9'103,000 N
828,000 E	9'105,000 N

Figura 18 Ubicación geográfica del distrito de Angamarca



Accesibilidad

La principal ruta de acceso es desde la ciudad de Trujillo tomando la vía terrestre afirmada de 225 kilómetros hasta las operaciones de la minera.

Así mismo desde la ciudad de Lima existen las siguientes rutas de acceso:

- Lima – Chimbote – Pallasca – Mollepata – Mina
- Lima – Trujillo – Quiruvilca – Quesquenda – Mina
- Lima – Trujillo – Santiago de Chuco – Angamarca – Mina

Por otro lado, el acceso aéreo a las instalaciones se realiza desde Lima hasta Tulpo donde se encuentra el Altipuerto, y a partir de esta localidad hasta la unidad minera por carretera, la duración de este viaje alcanza las dos horas.

Así mismo, se debe precisar que la empresa cuenta con una vía de acceso terrestre de su propiedad en dirección a las operaciones que se ubican en Pampa Larco su recorrido se realiza paralelos a las líneas eléctricas.

Geología local

La unidad Santa Rosa como yacimiento ocupa la categoría de depósitos epitermales con saturaciones de nivel alto, además está en un entorno compuesto por cuarcitas y areniscas propias de las formaciones denominadas Chimú, caracterizadas por presentar sectores mineralizados de vetillas con poco espacio entre ellos.

Esta formación es producto de una temprana fractura y brecha de origen hidrotermal sobre este cuerpo rocoso con la consiguiente compresión y fuga de gases desde el nivel magmático en la profundidad del emplazamiento intrusivo. Como consecuencia se tiene que el componente aurífero se encuentra en depósitos de pirita y arsenopirita además de una baja presencia en mineralización de base.

Ahora bien, estudios a nivel microscópico revelan la posibilidad de existencia de una etapa posterior con componente aurífero de origen profundo o de una desmovilización de los componentes arsenopirita-pirita.

Además, la principal caracterización de estos depósitos como epitermal con un nivel de sulfuración alto se debe a las presencias en altos niveles de antimonio, arsénico y con componentes de diáspora y pirofilita, sumado a ello una baja carga de cobre.

Tajos en operación

➤ Tajo tentadora:

Ubicación:

Estas operaciones se encuentran emplazamientos geográficamente en las siguientes coordenadas UTM:

- Norte: 9103200-9104200
- Este: 829200-829900

Mineralización:

Este cuerpo de rocas se asocia generalmente al emplazamiento de masas estructurales de mayor presencia como las fallas Santa Francisca y Santa Rosa, al este y oeste respectivamente y en el sector central las fallas Tentadora, San Marcos, Florida, San Agustín y San Andrés.

Todos estos cuerpos contribuyen a la condición craquelada de las rocas y que la mineralización se albergue en el estrato de la formación Chimú compuesto por areniscas y cuarcitas.

En términos de componentes se caracteriza por presentar sulfatos de fierro y óxidos como:

- Sericita $KAl_2(OH, F)_2AlSi_3O_{10}$
- Cuarzo SiO_2
- Escorodita $Fe(AsO_4)_2(H_2O)$ ----- Relación con Au
- Anatasa TiO_2

- Pirita FeS_2
- Diáspora $\text{AlO}(\text{OH})$
- Turgita $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- Hematita Fe_2O_3
- Jarosita $\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$ ----- Relación con Au
- Goethita $\text{FeO}(\text{OH})$ ----- Relación con Au

también Arcillas.

Se debe considerar que el proceso de mineralización aurífero tiene presencia en su mayoría en material participado de consistencia libre y de dimensiones finas además de estar estrechamente asociado a óxidos de fierro como lo son la goethita y jarosita y en fracturas de origen tectónico e hidrotermal.

➤ **Tajo sacalla:**

Ubicación:

Estas operaciones se encuentran emplazadas geográficamente en las siguientes coordenadas UTM:

- Norte: 9'102,500-9'103,200
- Este: 826,600-827,600

Mineralización:

En este caso el proceso de mineralización es semejante que el caso anterior por lo que muestra asociaciones a componentes de óxidos y sulfato de fierro, además de jarosita y goethita en general, todo ello emplazado en el interior del horizonte marcado por cuarcitas.

Este proceso se muestra favorecido por las características porosas y permeables propias de las cuarcitas de grano medio presentes en el

horizonte intermedio cuyo espesor en el estrato es delgado y motivo por el cual se fracturaron por la actividad tectónica del denominada ciclo Andino.

Todos estos componentes contribuyeron a crear las condiciones estructurales que le dan una característica frágil causante de la presencia hidrotermal y el posterior asentamiento del material aurífero.

➤ **Tajo seductora:**

Ubicación:

Estas operaciones se encuentran emplazados geográficamente en las siguientes coordenadas UTM:

- Norte: 9104100-9105000
- Este: 828700-829300

Mineralización:

En este caso el proceso de mineralización es semejante a los casos de los tajos Tentadora y Sacalla, sin embargo, presenta un emplazamiento exclusivo de cuarcitas, compuesto por goethita y jarosita, además en la a zonas fracturar tiene presencia de material aurífero de forma libre.

También se puede distinguir que este sector alcanza una influencia de mineralización aproximada de 30 metros.

Así mismo, el sector mineralizado de este tajo presenta una diáspora ($\text{AlO}_2(\text{OH})$) mineral que se produce a temperaturas que pueden alcanzar los 350°C .

Entre los componentes mineralizados con más presencia se encuentra duden identificar diáspora, hematita, jarosita y goethita.

Las características de esta zona de mineralización presentan un alto nivel de fracturación, por ese motivo las cuarcitas tienen una presencia disgregada debido a la alteración cuarzo-sericita que influye en la disminución de su textura original lo que les da una composición más arenosa de perfil amarillo-rojiza con mayor visibilidad en superficie, esta misma característica es la que permite tener una como guía confiable del sector mineralizado.

Por otro lado, todo el conjunto de mineralización limita en su extremo inferior con las lutitas carbonosas propias de las formaciones Chicama y como límite superior se encuentran las intercalaciones de areniscas, lutitas y limolitas, gracias a esta zonificación es que podemos delimitar con claridad todo el cuerpo de mineralización.

➤ **Tajo cochavara:**

Ubicación:

Estas operaciones se encuentran emplazados geográficamente en las siguientes coordenadas UTM:

- Norte: 9105900-9105000
- Este: 827600-828300

Mineralización:

En este caso el proceso de mineralización se caracteriza básicamente por la presencia en su mayoría de fracturas de cuarcitas que pertenecen a la Formación Chimú, además hay presencia en menor medida de limolitas/lutitas en los sectores que las estructuras vetiformes son atravesadas.

El fluido mineralizante aprovecha los sectores más débiles donde se ubican las fallas para usarlas como ductos que alimenten el ascenso y mineralización de las zonas más permeables.

Como consecuencia del intenso fallamiento anterior al mineral que fue producto de las fuerzas tectónicas en acción que tuvieron presencia en toda la zona se generó sectores de un fracturamiento de nivel alto, con evidencia principalmente en cuerpos frágiles como es el caso de las cuarcitas propias de la Formación Chimú, lo que tuvo como consecuencia la aparición de espacios o huecos, ideales para que corcolén los fluidos de mineralización, así como su depositación posterior.

Así mismo, el proceso de mineralizado originario de sulfuros ha sido transformado a óxidos debido a intensas alteraciones de carácter hipógena y supergena con un alcance que supera los 250 metros en su parte más profunda, como consecuencia de ese proceso nos encontramos con evidencia de Sulfatos y óxidos de hierro y arsénico, como son Jarosita ($K_2Fe_6(SO_4)_4(OH)_6$), Limonita, Goethita ($Fe_3O(OH)$), Hematita (Fe_2O_3), que se asocian a Escorodita ($AsO_4Fe_2H_2O$).

Este último componente corresponde al proceso oxidativo de la Arsenopirita ($FeAsS$), el cual se muestra en asociación con la Pirita (S_2Fe). Y estos dos últimos elementos se encuentran en ocasiones formando parte de restos pequeño o aisladas entre cómo núcleos aislados.

➤ **Tajo clarita:**

Ubicación:

Estas operaciones se encuentran emplazadas geográficamente en las siguientes coordenadas UTM:

- Norte: 9103000-9104500
- Este 827500-828500

MINERALIZACIÓN:

En este caso el proceso de mineralización se caracteriza básicamente por la presencia en su mayoría de material aurífero con perfil epitermal y presenta un alto nivel de sulfuración, además el cuarzo es un elemento presente en toda la zona, así como diáspora, pirofilita y sericita que adicionalmente al patrón químico y geológico encontrado presenta características similares a los yacimientos de sulfuración de nivel alto como Igor, Algamarca, El Toro, La Arena y La Virgen entre otras, en el interior de material rocoso encajonante sedimentario perteneciente al Cretáceo inferior con un pliegue moderado y ligero.

Así mismo, el componente aurífero es de carácter visible y libre, y su presencia se presenta en láminas finas con dimensiones variables entre 5-10 micras diametrales, además de un nivel de pureza que alcanza los 850 con base en un examen visual de contraste por coloraciones en relación a una muestra conocida con un nivel de pureza identificado; por otro lado, se sabe de la presencia de material aurífero que no es visible.

La presencia de material aurífero en este tajo tiene una consistencia generalmente fina lo que tiene como consecuencia su acceso fácilmente por medio del método metalúrgico que lo recupera rápidamente teniendo como resultado un porcentaje alto de material extraído por cianuración.

Las pruebas realizadas por medio de cianuración muestran evidencia de esta condición del material aurífero.

4.1.2. Minería

El método de tajo abierto es el escogido para llevar a cabo estas operaciones. Para las labores de movilización del desmonte y el carguío se dispondrán de cargadores frontales y excavadores de acción hidráulica, por el lado del acarreo se utilizará volquetes con capacidad de 15 metros cúbicos en modelos Escania 460 y Volvo FMX con un total determinado por el banco o nivel en el que se encuentren laborando y por sitio que se destine para el acarreo de dicha carga.

Con la finalidad de controlar estas labores se cuenta con personal de piso encargado de controlar en cada frente el material, ciclo de carguío, ciclo de acarreo, costo de carguío y mantener las condiciones óptimas en el frente como de las vías.

Toda la información recopilada por el controlador es enviada a la Central de Monitoreo la que se encarga de realizar una evaluación y registro los niveles de rendimiento del equipamiento. Además, deberá comunicar si registran bajos niveles con la finalidad de implementar las medidas de corrección necesarias, como también comunicar el nivel de los avances de la planificación del minado.

Se mantiene la actualización de la información relacionada a la Disponibilidad Mecánica en periodos diarios y mensuales del equipamiento de terceras empresas que operen en las instalaciones y labores de la unidad con la finalidad de realizar el programa diario del equipamiento en relación al requerimiento que solicite cada una de las unidades de la empresa.

Parámetros geotécnicos de diseño

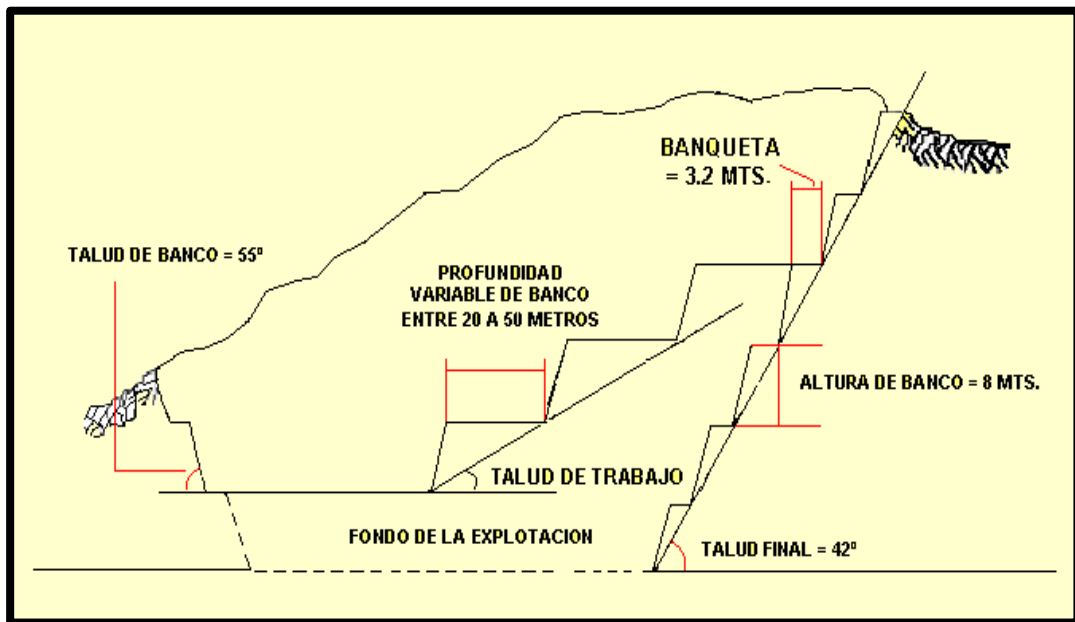
Tomando en cuenta las dimensiones del equipo empleado y el plan de minado de la empresa se puede determinar cómo parámetros centrales del diseño en las labores de explotación según el método de tajo abierto (Ver GRAFICO):

Talud de Banco, el elemento principal para establecer este criterio es la línea que se traza a partir de la cresta del banco hasta el Toe o piso que describe un ángulo en su intersección de 55° con la horizontal que establece un nivel mínimo para el talud del banco de 0.7: 1 para bancos de 8 mts. de altura.

Talud de Operación, en las operaciones actuales se realizan trabajos con 42° de ángulo operativo para mantener un talud con relación al tajo de 1.1: 1.

Taludes Relativos de Bancos Operativos con Anchos Variables, se trata de las distintas dimensiones de los bancos y de la variación de su parte ancha dependiendo del diseño y de los sectores del tajeo elegido para establecer las características estructurales.

Figura 19 Parámetros geotécnicos Comarsa



Parámetros operativos de diseño

Banquetas, o Bermas de Operación, estos elementos serán definidos partiendo del diseño por medio del ángulo operativo que normalmente es de 3.2 metros desde el pie de un banco superior a la cresta de un banco inferior.

Muro de Seguridad, por parámetros generales los muros deben contar con una altura de seguridad equivalente a $\frac{3}{4}$ partes de la llanta, en la empresa se determinó 1.20 metros como estándar de altura.

Rampas, Por razones de diseño estos elementos deberán tener como máximo 12 metros en su sector más ancho que corresponde a las dimensiones de los vehículos destinados al transporte de materiales que alcanzan 2,5 metros en su parte ancha, de esta manera se consigue la circulación de tres vehículos en simultáneo, además se presenta una variación entre 10 y 15% en gradientes y pendientes para permitir la circulación de vehículos con capacidad de 15 metros cúbicos que corresponde a equipamiento de mediano peso.

Por otro lado, la curvatura de una vía o rampa debe contar con un radio que marque el cambio de dirección en las vías de las distintas operaciones y que además tenga una dimensión equivalente al doble y un cuarto del ancho de la vía que pueda garantizar una circulación segura a una velocidad de 7 km/hr.

Además, los elementos como el peralte serán indispensables para equilibrar las fuerzas centrífugas y gravitacionales en los radios de las curvaturas que descienden de una rampa como consecuencia del tránsito del vehículo de carga. Este de tener 30 centímetros de alto y con una longitud variable dependiendo de la dirección final.

4.1.3. Emulsiones Gasificante Fortis TM Advantage

Características

Se trata de un compuesto emulsionante que se usa en labores mineras con el objetivo de ser mezclados con soluciones de Anfo, de modo que se facilite la producción de material explosivo en el mismo sitio de las operaciones.

Por separado se trata de una sustancia emulsionante de carácter no explosivo y se compone de un elemento combustible y otro oxidante.

Además, *Fortis™ Advantage* cuenta con un equilibrio entre su componente de oxígeno negativo y su aspecto de líquido espeso con una coloración amarillenta opaca, con similitudes a una grasa ligera o un aceite espeso.

Aplicación

Fortis™ Advantage ANE se fabrica cumpliendo estándares exigentes de producción, para su distribución se debe contar con vehículos con capacidad de transportar líquidos y en caso no se cuente con esa

capacidad se debe disponer de tanques transportables con distintas medidas de seguridad hacia el sitio de operaciones.

Además, este producto debe ser destinado a la fabricación de material explosivo que el fabricante autorice. De la misma forma para su manipulación se debe contar con las licencias necesarias que una autoridad competente otorgue.

Propiedades técnicas

Técnicamente no se trata de un producto intrínsecamente explosivo por ello las propiedades de los materiales explosivos no se aplican a la descripción de este compuesto.

Por otro lado, este producto presenta una densidad que puede alcanzar los 1.32 y 1.38g/cm³.

Recomendaciones para su uso

Se recomienda su uso en la fabricación de toda clase de derivados en el grupo de emulsiones y Anfos, así mismo también puede mezclarse con Anfo y diésel en porciones adecuadas para obtener desempeños óptimos.

Almacenamiento

El periodo adecuado para almacenar este producto puede alcanzar los tres meses previos a su uso. Se debe prestar especial atención a los cristales que se puedan formar en el material emulsionante debido a que se trata de una señal que la vigencia del producto está llegando a su término. Para evitar este tipo de inconvenientes se debe organizar la utilización y el almacenamiento de estos productos de acuerdo a la fecha de caducidad.

4.1.4. Trabajo de campo

La evaluación desde el lugar de labores consiste en llevar a cabo los controles que se tenían programados.

Se realizaron tres tipos de controles los cuales fueron:

- Controles en los productos para la preparación del Fortis Advantage,
- Controles en el desempeño del producto final y
- Controles en los equipos que suministran nuestro producto (Camiones Fábrica).

En cuanto a los controles de los insumos fueron: Medición de PH a la solución de NaNO_2 y Emulsión Fortis Advantage, Control de densidades en campo y laboratorio.

Respecto a los controles en el desempeño del producto se midió la VOD, fragmentación de roca (P80) y monitoreo de vibraciones (PPV) y referente a los controles que se realizaron en los camiones fábrica está la calibración de camiones realizada cada 10 días.

4.1.5. Controles en los productos para la preparación del Fortis Advantage

Control de solución NaNO_2

Durante el mes de agosto se usó agua de la poza con un valor de PH= 6.86.

Durante este mes no se modificó el porcentaje de nitrito de sodio en la mezcla de solución: 93% agua y 7% nitrito de sodio. No se observó problemas de caída de taco.

Figura 20 Medición de PH con la que se prepara la solución gasificante



Figura 21 Toma de densidades al lote de emulsión



Figura 22 Densidad obtenida al producto Fortis Advantage



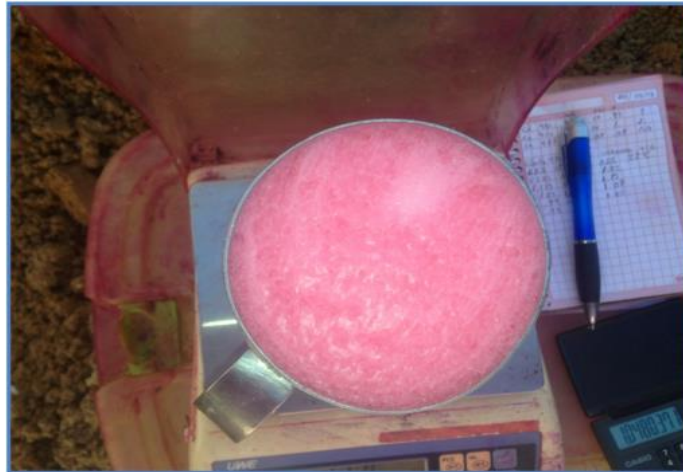
Control de densidades

Con la nueva solución, se procedió a realizar las curvas de gasificación en laboratorio y en campo, obteniéndose como resultado final.

Tabla 4 Densidades de copa finales en campo

Temperatura (°C)	24°C		
Porcentaje de Solución	0.80%	0.9%	1%
Densidad de copa (g/cc)	1.01	0.96	0.92

Figura 23 Medición de densidades en campo



4.1.6. Controles en el desempeño del producto final

Control de la velocidad de detonación (VOD)

El día 10/09/22 se procedió a realizar mediciones de las velocidades que puede alcanzar una detonación en el nivel 420 del Tajo Clarita, con una densidad de 0.95g/cc, un diámetro de taladro de 6 1/8" y se usó Pentex de 450gramos, obteniéndose como VOD promedio = 5124.6 m/s.

Las condiciones que debe cumplir el iniciador o Pentex para eliminar los sectores bajos en VOD que presenta este material es:

La detonación de contar con un nivel de presión más elevado posible, y de la misma forma sus diámetros deben estar por encima de los $\frac{2}{3}$ de la dimensión diametral de la carga. Además, la longitud del dispositivo de iniciación representa un elemento importante debido a que este puede ser activado por dispositivo de detonación o un cordón de detonación que cuenta con un elevado VOD en toda su extensión.

Aunque es común creer que la carga energética liberada al detonar el material emulsionante tiende a aumentar con VOD, esta idea no tiene

base empírica debido a que cuando una explosión produce energía está se expande a una velocidad constante e independiente. En ese sentido si la VOD aumenta esto se debe a que también aumenta la energía tensionado (ET) lo que contribuya a disminuir la energía proveniente de los gases (EG) debido a que la sumatoria de las dos debe permanecer constante.

Esta relación entre las energías de tensión y de gases se presenta en menor medida en los sectores donde la VOD cae y es mayor cuando se produce un aumento de la VOD por medio de un iniciador.

Niveles superiores de ET representa un beneficio cuando se busque obtener una fragmentación sobre material rocoso con un factor de dureza alto, frágil o masivo como es el caso de las cuarcitas. En cambio, en una formación sedimentaria del tipo areniscas o material con un nivel de tectonización elevado se debe elevar el EG de modo que se aproveche sus efectos en los planos débiles y en los sectores fracturados con la finalidad de obtener un desplazamiento adecuado en el material rocoso.

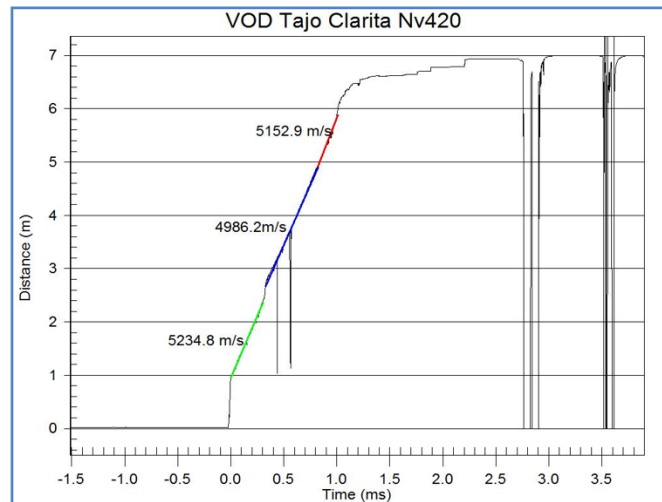
Como última medida cabe señalar que un VOD estándar producto de una detonación en el interior de un taladro no guarda relación con el gramaje del elemento iniciador, el tamaño y la forma (Junk, 1972). Evidencia que se obtuvo al medir en las labores en el lugar de ópera muestran las conclusiones siguientes:

Entre el dispositivo de iniciación y donde se obtendrá la VOD de régimen existirá una distancia inferior en el caso que se empleen elementos de iniciación de un gramaje superior. Además, esta longitud debe encontrarse dentro de una dimensión entre 3 y 5 veces la distancia diametral de la perforación.

Para ejemplificar, podemos considerar una longitud diametral de 6 1/8” con una columna emulsionante de carga la distancia deberá ser de 46 centímetros.

En el caso se empleé dispositivos de iniciación con un gramaje distinto no presentará diferencias en la VOD de régimen, que se obtendrá a lo largo de la columna del material detonante.

Figura 24 Velocidad de detonación VOD en el Nv 420 Tajo Clarita, VOD = 5124.6 m/s



Tal como se puede observar en la gráfica, la VOD desciende en el segundo tramo y luego aumenta un poco en su valor, es probable que haya habido contaminación en el taladro al momento del carguío por detritus de perforación, por lo que se recomienda tener mayor cuidado al momento de winchar un taladro.

Control del grado de fragmentación

Resumen de la fragmentación por cada proyecto

Se analizaron el seguimiento a 4 disparos durante el mes de octubre en los tajos Clarita y Seductora con un tiempo aproximado de 3

días de minado. El P80 obtenido este mes fue de 4.9cm. Los reportes diarios de fragmentación fueron entregados a supervisión de voladura Comarsa. A continuación, se muestra una tabla resumen con los resultados de fragmentación obtenidos (P80):

Tabla 5 Cuadro resumen de fragmentación obtenida

Fecha	Tajo	Proyecto	Densidad Explosiva (g/cc)	Malla (m.)	Long. De Taco (m)	Long. De columna Explosivo (m)	Tipo de roca	P80 (cm)
03/10/22	Clarita	105	0.95	4.5 x 4.5	2	4.5	Cuarcita Silicificado	6
05/10/22	Clarita	159	0.95/1.0	5.5x5.5 4.2x4.2	2	4.5	Cuarcita/C. Silicificado	2.42
11/10/22	Seductora	15	0.95	3.8 x 3.8	2	4.5	Cuarcita	3.05
15/10/22	Seductora	17	0.90	4.5 x 4.0	2	4.5	Cuarcita/C. Silicificado	7.92
PROMEDIO								4.8475

Figura 25 Curva de fragmentación del mes de octubre. P80: 4.9cm

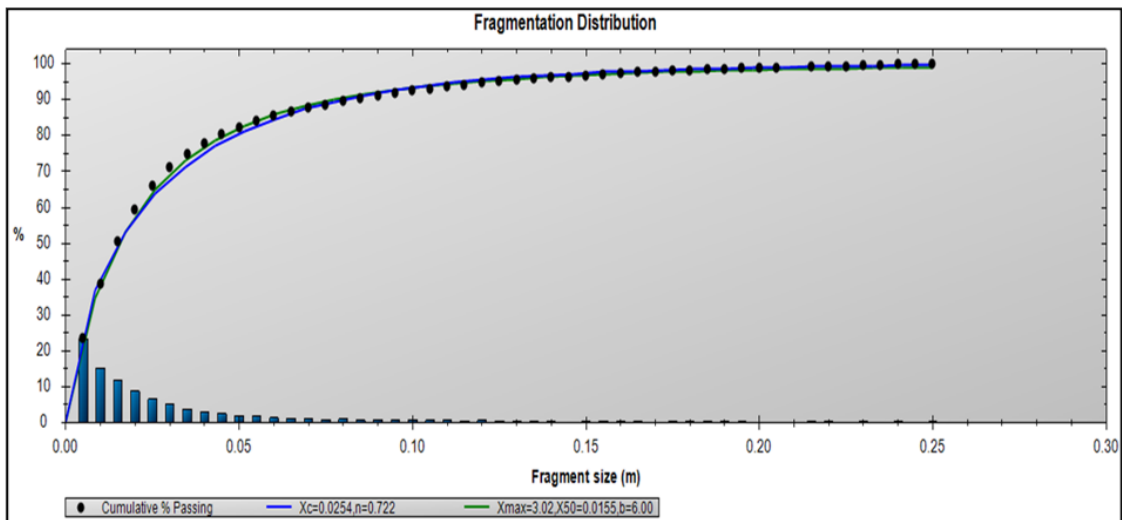


Tabla 6 Porcentaje de tamaño de fragmentos promedio durante el mes de octubre

Numer o	Tamaño (m)	Área (m2)	%	Acumulado (%)
1	0.01	8.43	23.32	23.32
2	0.01	5.52	15.25	38.57
3	0.02	4.30	11.88	50.45
4	0.02	3.18	8.79	59.24
5	0.03	2.40	6.64	65.89
6	0.03	1.82	5.02	70.91
7	0.04	1.38	3.82	74.73
8	0.04	1.09	3.01	77.75
9	0.05	0.91	2.53	80.28
10	0.05	0.71	1.96	82.24
11	0.06	0.64	1.78	84.02
12	0.06	0.49	1.34	85.35
13	0.07	0.42	1.15	86.51
14	0.07	0.42	1.16	87.67
15	0.08	0.27	0.75	88.42
16	0.08	0.37	1.01	89.43
17	0.09	0.26	0.73	90.16
18	0.09	0.32	0.89	91.05
19	0.10	0.23	0.62	91.68
20	0.10	0.27	0.74	92.42
21	0.11	0.21	0.57	92.99
22	0.11	0.21	0.58	93.57
23	0.12	0.15	0.40	93.98
24	0.12	0.26	0.73	94.71
25	0.13	0.19	0.53	95.24
26	0.13	0.10	0.27	95.51
27	0.14	0.08	0.22	95.74
28	0.14	0.12	0.32	96.06
29	0.15	0.06	0.17	96.23
30	0.15	0.13	0.37	96.60
31	0.16	0.14	0.39	96.99
32	0.16	0.11	0.30	97.29
33	0.17	0.09	0.25	97.53
34	0.17	0.05	0.14	97.67
35	0.18	0.07	0.20	97.88
36	0.18	0.08	0.23	98.11
37	0.19	0.08	0.22	98.33
38	0.19	0.08	0.23	98.56

39	0.20	0.07	0.20	98.76
40	0.20	0.01	0.02	98.78
41	0.21	0.01	0.02	98.80
42	0.21	0.00	0.00	98.80
43	0.22	0.09	0.24	99.04
44	0.22	0.08	0.22	99.25
45	0.23	0.00	0.01	99.26
46	0.23	0.07	0.20	99.46
47	0.24	0.00	0.01	99.47
48	0.24	0.10	0.28	99.75
49	0.25	0.00	0.01	99.76
50	0.25	0.09	0.24	100.00

Fragmentación en el proyecto 157 Nv 450 Tajo Clarita, P80: 6cm

Figura 26 Curva de fragmentación en el proyecto 157 Nv 450 Tajo Clarita, P80: 6cm

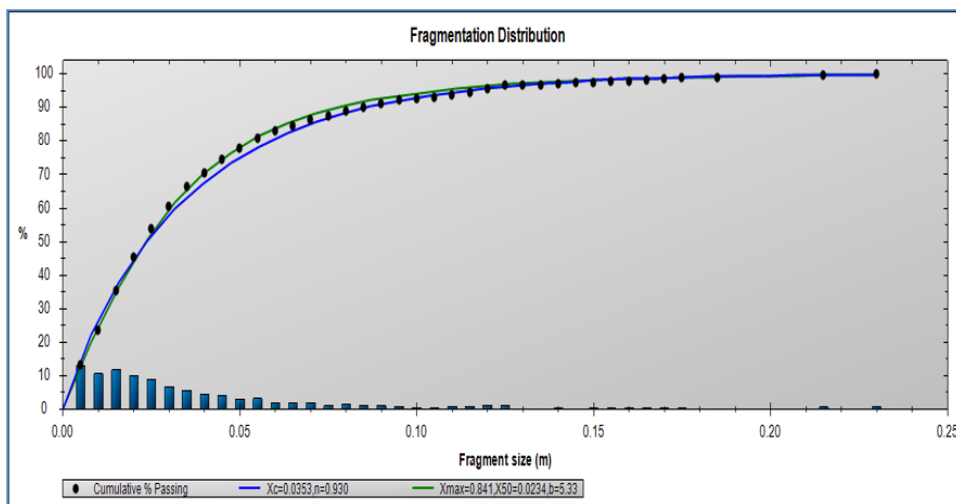


Figura 27 Fragmentación a nivel de taco en el Proy 157, Tajo Clarita. La pelota tiene un diámetro de 17.2 cm



Tabla 7 Porcentaje de tamaño de fragmentos en la pila pry 157-tajo clarita

Número	Tamaño (m)	Área (m²)	%	Acumulado (%)
1	0.01	1.66	13.00	13.00
2	0.01	1.35	10.56	23.56
3	0.02	1.50	11.70	35.26
4	0.02	1.27	9.92	45.18
5	0.03	1.12	8.72	53.90
6	0.03	0.85	6.66	60.56
7	0.04	0.71	5.57	66.13
8	0.04	0.56	4.37	70.50
9	0.05	0.52	4.05	74.55
10	0.05	0.40	3.14	77.69
11	0.06	0.40	1.15	80.84
12	0.06	0.25	1.99	82.82
13	0.07	0.22	1.70	84.52
14	0.07	0.24	1.89	86.41
15	0.08	0.13	1.01	87.42
16	0.08	0.17	1.37	88.79
17	0.09	0.16	1.22	90.00
18	0.09	0.14	1.09	91.09
19	0.10	0.11	0.90	91.99
20	0.10	0.07	0.53	92.52
21	0.11	0.05	0.40	92.92
22	0.11	0.09	0.74	93.66
23	0.12	0.10	0.75	94.41
24	0.12	0.15	1.16	95.57
25	0.13	0.12	0.96	96.53
26	0.13	0.02	0.16	96.69

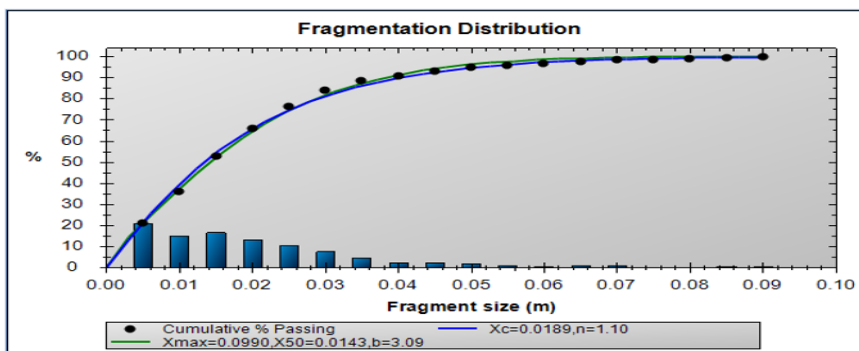
27	0.14	0.01	0.05	96.74
28	0.14	0.05	0.35	97.09
29	0.15	0.00	0.04	97.13
30	0.15	0.03	0.22	97.35
31	0.16	0.03	0.23	97.58
32	0.16	0.03	0.24	97.82
33	0.17	0.05	0.39	98.21
34	0.17	0.04	0.32	98.53
35	0.18	0.00	0.28	98.80
36	0.18	0.00	0.00	98.80
37	0.19	0.00	0.02	98.82
38	0.19	0.00	0.00	98.82
39	0.20	0.00	0.00	98.82
40	0.20	0.00	0.00	98.82
41	0.21	0.00	0.00	98.82
42	0.21	0.00	0.00	98.82
43	0.22	0.00	0.62	99.44
44	0.22	0.00	0.00	99.44
45	0.23	0.00	0.00	99.44
46	0.23	0.07	0.56	100.00

Análisis de fragmentación por zonas Proyecto 157.

Si analizamos por zonas, en roca suave obtenemos:

Figura 28 Curva de fragmentación en roca suave en el Pry 157, Tajo Clarita P80=

2.9cm



*Figura 29 Fragmentación a nivel de taco en roca suave Pry 157 Tajo Clarita,
diámetro de pelota =17.1cm*



Para la zona de roca dura, se obtuvo una curva de fragmentación

*Figura 30 Curva de fragmentación en roca dura en el Proy 157 Tajo Clarita, P80=
7.6 cm*

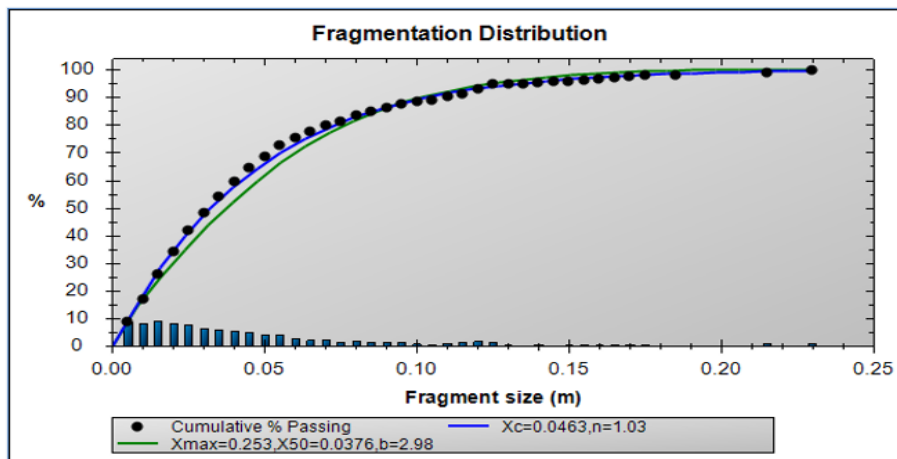


Figura 31 Fragmentación a nivel de taco en roca dura en el Proy 157, diámetro de pelota =17.1cm



Grado de fragmentación en el proyecto 159

Figura 32 Diseño de malla de voladura en el proyecto 159 igual a 5.5m x 5.5m y 4.2mX4.2m



Figura 33 Curva de fragmentación en el proyecto 159 Nv 420 Tajo Clarita, En la zona de Minado

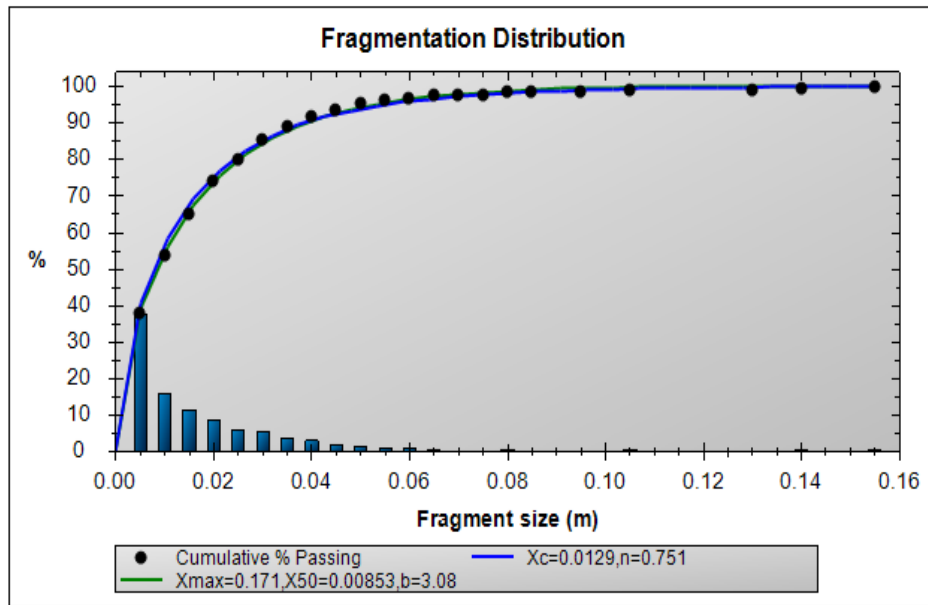


Figura 34 Fragmentación durante el minado en el Proy 159 Tajo Clarita. La pelota tiene un diámetro de 17.2 cm



Tabla 8 Porcentaje de tamaño de fragmentos en la pila pry 159-tajo Clarita

Numero	Tamaño (m)	Área (m2)	%	Acumulado (%)
1	0.01	2.74	37.75	37.75
2	0.01	1.14	15.74	53.50
3	0.02	0.84	11.55	65.05
4	0.02	0.64	8.80	73.85
5	0.03	0.44	6.11	79.96
6	0.03	0.39	5.36	85.32
7	0.04	0.26	3.55	88.87
8	0.04	0.21	2.96	91.83
9	0.05	0.13	1.84	93.67
10	0.05	0.11	1.53	95.20
11	0.06	0.07	0.94	96.14
12	0.06	0.05	0.71	96.85
13	0.07	0.05	0.62	97.48
14	0.07	0.01	0.13	97.60
15	0.08	0.01	0.18	97.78
16	0.08	0.05	0.64	98.42
17	0.09	0.00	0.04	98.46
18	0.09	0.00	0.00	98.46
19	0.10	0.01	0.16	98.62
20	0.10	0.00	0.00	98.62
21	0.11	0.03	0.16	99.09
22	0.11	0.00	0.00	99.09
23	0.12	0.00	0.47	99.09
24	0.12	0.00	0.00	99.09
25	0.13	0.00	0.00	99.09
26	0.13	0.00	0.00	99.12
27	0.14	0.00	0.00	99.12
28	0.14	0.02	0.03	99.42
29	0.15	0.00	0.00	99.42
30	0.15	0.00	0.00	99.42
31	0.16	0.04	0.58	100.00

Figura 35 Toma n 1 de muestras en el frente de minado pyt 159 tajo Clarita

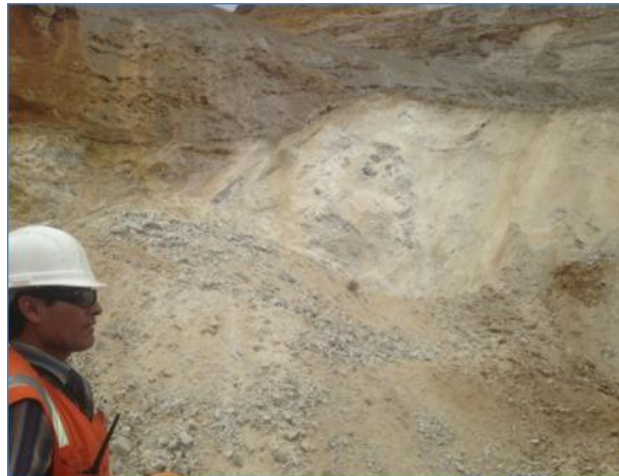


Figura 36 Toma N° 2 de muestras en el frente de minado pyt 159 tajo Clarita



Grado de fragmentación en el proyecto 15

*Figura 37 Diseño de malla de voladura en el proyecto 15 Nv 435 Tajo Seductora
igual a 3.8m x 3.8m*



Figura 38 Curva de fragmentación en el proyecto 15 Nv 435 Tajo Seductora

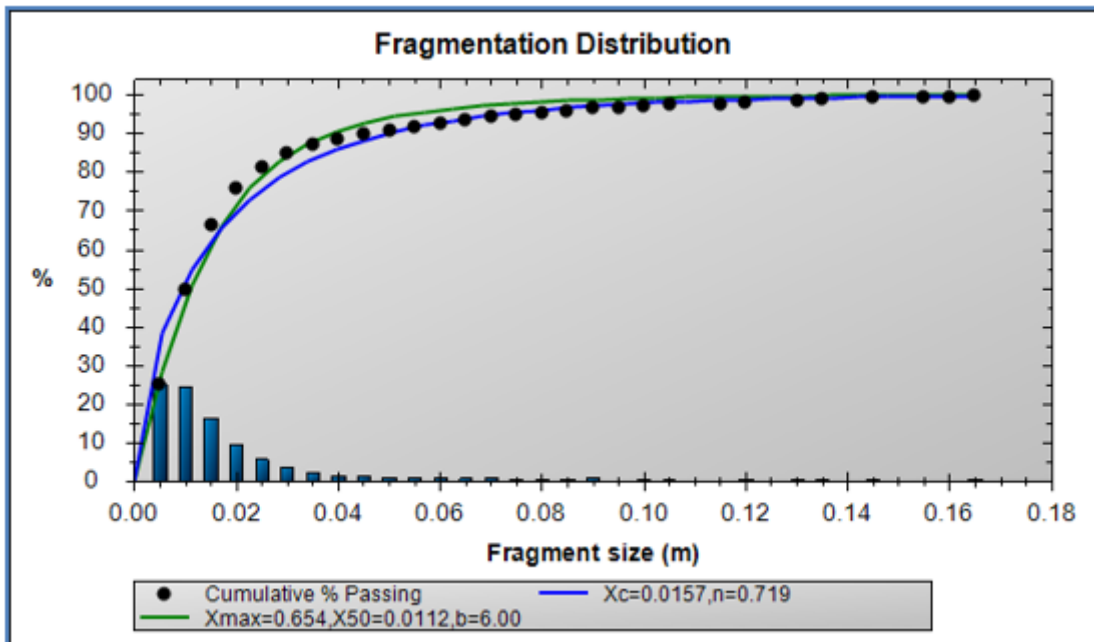


Tabla 9 Porcentaje de tamaño de fragmentos en la pila pry 15-tajo seductora

Número	Tamaño (m)	Área (m2)	%	Acumulado (%)
1	0.01	1.97	25.22	25.22
2	0.01	1.92	24.56	49.78
3	0.02	1.29	16.50	66.28
4	0.02	0.74	9.47	75.74
5	0.03	0.45	5.71	81.46
6	0.03	0.29	3.67	85.13
7	0.04	0.17	2.12	87.24
8	0.04	0.12	1.48	88.73
9	0.05	0.10	1.31	90.04
10	0.05	0.07	0.94	90.97
11	0.06	0.07	0.83	91.81
12	0.06	0.07	0.86	92.66
13	0.07	0.06	0.74	93.40
14	0.07	0.08	1.01	94.41
15	0.08	0.04	0.57	94.98
16	0.08	0.03	0.44	95.42
17	0.09	0.04	0.45	95.87
18	0.09	0.06	0.81	96.68
19	0.10	0.00	0.01	96.69
20	0.10	0.04	0.50	97.19
21	0.11	0.02	0.25	97.45
22	0.11	0.00	0.00	97.45
23	0.12	0.02	0.23	97.67
24	0.12	0.04	0.57	98.25
25	0.13	0.00	0.00	98.25
26	0.13	0.03	0.41	98.65
27	0.14	0.03	0.39	99.04
28	0.14	0.00	0.00	99.04
29	0.15	0.02	0.30	99.34
30	0.15	0.00	0.00	99.34
31	0.16	0.00	0.02	99.36
32	0.16	0.01	0.17	99.53
33	0.17	0.04	0.47	100.00

Figura 39 Pila Volada del proyecto 15 Nv 435 en el Tajo Seductora



Figura 40 Toma de muestras de fragmentación en la pila volada del proyecto 15



Figura 41 Fragmentación durante el minado en el Proy 15 Nv 435 Tajo Seductora.

La pelota tiene un diámetro de 17.2 cm



Grado de fragmentación en el proyecto 17

Figura 42 Diseño de malla de voladura en el proyecto 17 Nv 427 Tajo Seductora

igual a 3.8m x 3.8m



Figura 43 Curva de fragmentación en el proyecto 17 Nv 427 Tajo Seductora

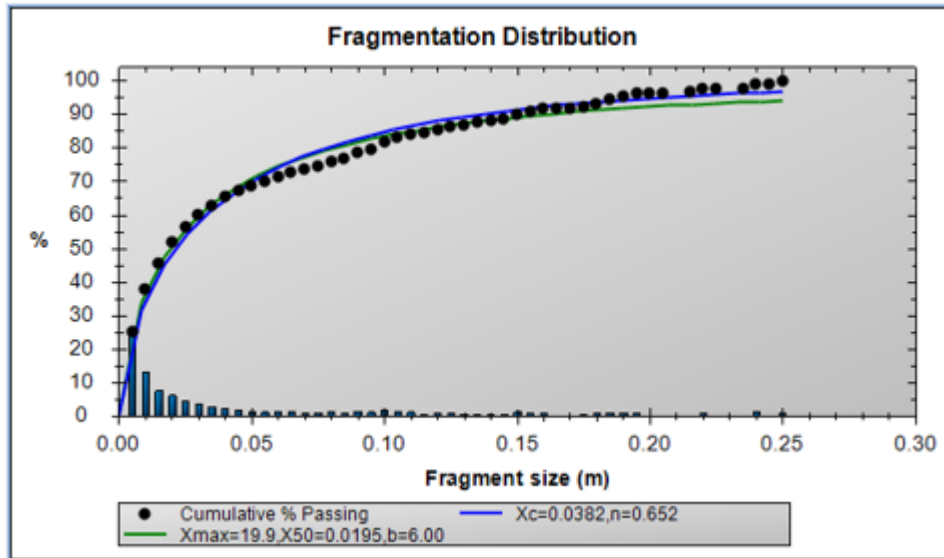


Tabla 10 Porcentaje de tamaño de fragmentos en la pila pry 17 n427-tajo seductora

Numer o	Tamaño (m)	Área (m2)	%	Acumulado (%)
1	0.01	1.97	24.92	24.92
2	0.01	1.02	12.95	37.86
3	0.02	0.61	7.71	45.57
4	0.02	0.48	6.15	51.72
5	0.03	0.37	4.64	56.35
6	0.03	0.28	3.50	59.86
7	0.04	0.23	2.93	62.79
8	0.04	0.20	2.47	65.27
9	0.05	0.16	1.97	67.23
10	0.05	0.12	1.46	68.69
11	0.06	0.10	1.23	69.92
12	0.06	0.11	1.38	71.30
13	0.07	0.10	1.21	72.51
14	0.07	0.09	1.12	73.63
15	0.08	0.08	1.07	74.70
16	0.08	0.10	1.32	76.02
17	0.09	0.07	0.89	76.91
18	0.09	0.12	1.51	78.43
19	0.10	0.10	1.25	79.68
20	0.10	0.16	2.05	81.72
21	0.11	0.10	1.29	83.02
22	0.11	0.09	1.18	84.20

23	0.12	0.03	0.42	84.62
24	0.12	0.07	0.90	85.51
25	0.13	0.07	0.88	86.39
26	0.13	0.04	0.56	86.95
27	0.14	0.04	0.57	87.52
28	0.14	0.05	0.63	88.15
29	0.15	0.03	0.40	88.55
30	0.15	0.11	1.33	89.88
31	0.16	0.07	0.87	90.75
32	0.16	0.06	0.81	91.56
33	0.17	0.00	0.04	91.60
34	0.17	0.01	0.12	91.73
35	0.18	0.04	0.49	92.21
36	0.18	0.08	1.04	93.26
37	0.19	0.08	0.98	94.24
38	0.19	0.08	1.06	95.29
39	0.20	0.07	0.94	96.23
40	0.20	0.01	0.09	96.32
41	0.21	0.01	0.08	96.40
42	0.21	0.00	0.00	96.40
43	0.22	0.01	0.10	96.50
44	0.22	0.08	1.00	97.50
45	0.23	0.00	0.03	97.53
46	0.23	0.00	0.00	97.53
47	0.24	0.00	0.05	97.58
48	0.24	0.10	1.27	98.86
49	0.25	0.00	0.04	98.89
50	0.25	0.09	1.11	100.00

Figura 44 Fragmentación Gruesa disparo 17 Nv 427 Tajo Seductora. P80 en zona de gruesos: 10.7cm



Figura 45 Fragmentación gruesa en zona de taco en el disparo 17 Nv427 Tajo Seductora, diámetro de pelota: 17.2cm



Figura 46 Fragmentación Fina disparo 17 Nv 427 Tajo Seductora, P80 en zona de fino: 2.8cm



Figura 47 Fragmentación Fina en zona de taco en el disparo 17 Nv 427 Tajo Seductora, diámetro de pelota: 17.2cm

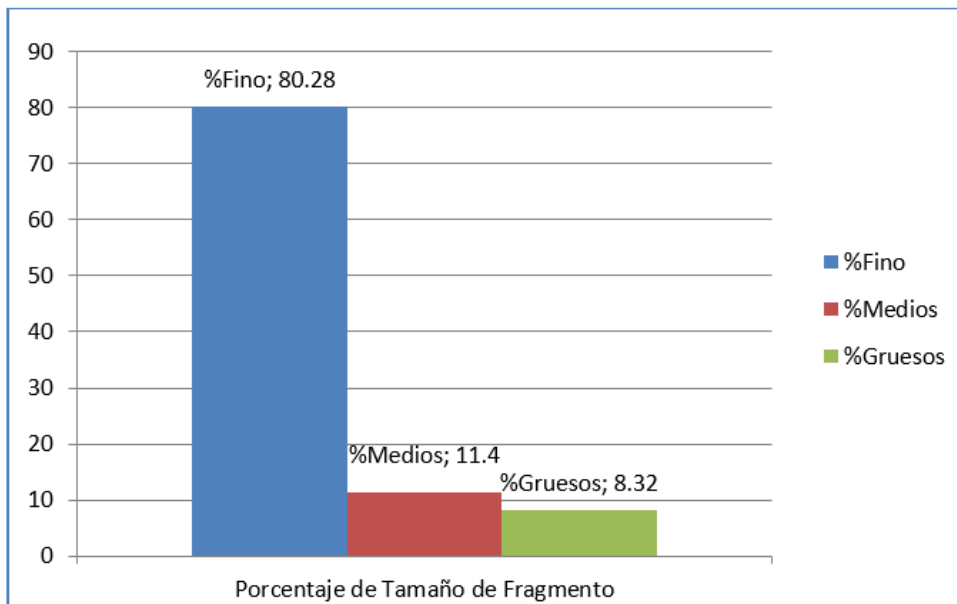


Tabla 11 Resultados de los porcentajes de fragmentación obtenida en octubre por tipo de fragmento

% FINO	<2pulg (hasta 5.08cm)
%MEDIOS	<4 pulgadas (hasta10.16cm)
%GRUESOS	>4pulg (mayor a 10.16)

Porcentaje de Tamaño de Fragmento		
%Fino	%Medios	%Gruesos
80.28	11.4	8.32

Figura 48 Porcentaje de tamaño de fragmentos



Monitoreo de las vibraciones

Resumen monitoreo de vibraciones

Se registraron vibraciones en 7 disparos durante los meses que duro la investigación. A continuación, se muestra el cuadro resumen en la tabla:

Tabla 12 Resumen de los registros de monitoreo de vibraciones

Fecha	Tajo	Numero taladros	Densidad Explosivo (g/cc)	Malla	Dist. Al punto de monitoreo	PPV /(mm/s)	Frecuencia (Hz)
06/10/22	Clarita	167	1.0	4.3 x 4.3	587	3.45	7.6
10/10/22	Seductor a	108	0.96	3.8 x 3.8	1822	0.7	7.8
	Clarita	132	0.95	5.5 x 5.5	574	5.69	7.8
12/10/22	Clarita	145	0.95	5.5x5.5 4.2x4.2	1175	2.18	7.6
	Seductor a	111	1	3.8 x 3.8	476	2.6	7.7
15/10/22	Clarita	110	1	3.8 x 3.8	785	5.91	7.6
18/10/22	Clarita	129	0.94	3.5x3.5	852	2.55	7.6

Para el análisis de criterio de prevención daño a las estructuras, se está utilizando la norma española UNE 22-381-93

Tabla 13 Norma Española UNE-381-93

TIPO DE ESTRUCTURA	FRECUENCIAS PRINCIPALES		
	2 – 15	15 – 75	>75
	Velocidad (mm/s)	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
I	20	0,212	100
II	9	0,095	45
III	4	0,042	20

Registro de vibraciones por disparo

Disparo 1 Tajo Clarita – Comarsa

Control de calibraciones de camiones

Se programó realizar cada 10 días la calibración de camiones fábrica para corregir el factor entre los kilos de emulsión mostrados en el PLC del camión con los kilos de emulsión realmente suministrados por el camión.

Es muy importante realizar la calibración ya que en el camión de la imagen adjunta se estaban suministrando 6 kilos más por cada taladro,

lo que genera un exceso de energía de explosivo para romper el mismo volumen de material además de un gasto innecesario en material explosivo.

Figura 49 Calibración de camiones en campo



4.2. Discusión de resultados.

- El P80 durante el mes de octubre fue de 4.9 cm (1.92pulgadas) con un índice de uniformidad de 0.722, un nivel de fragmentación bastante inferior al requerido por el cliente que es de 4 pulgadas.
- La VOD del Fortis Advantaje con una densidad de 0.95 g/cc y diámetro de 6 1/8" fue de 5124.6 m/s. Un valor bastante alto para el diámetro pequeño del taladro y la densidad solicitada.
- Las vibraciones registradas cerca a instalaciones a cuidar como oficinas y plantas están por debajo la curva para edificios tipo II, sin embargo, las frecuencias registradas son muy bajas por lo que estarían ocasionando daños a las estructuras a largo plazo.

- Se observó una buena práctica en el tapado de taladros que consiste en el “picado” con una barreta de madera cuando el camión echa el stemming para así evitar los vacíos dentro del taladro ocasionados por la misma geometría de la piedra chancada.
- Se observó que en algunos proyectos con agua mayor a 1 metro no se está bombeando, tal como pasó en Clarita el 10 de octubre, en donde hubo frentes amarrados y duros por lo que se tuvo que tractorear.
- Se debe tener un mejor control en la perforación en donde se ha observado malas prácticas tales como perforación en ángulo dentro de la malla de disparo y muchos taladros cortos.

Figura 50 Se observa que la perforadora del lado izquierdo perfora en ángulo a diferencia de la perforadora en el lado derecho



CONCLUSIONES

- a. El P80 durante la investigación fue de 4.9 cm (1.92cm) con un índice de uniformidad de 0.722, un nivel de fragmentación bastante inferior al requerido por la empresa que es de 4 pulgadas.
- b. La VOD del Fortis Advantaje con una densidad de 0.95 g/cc y diámetro de 6 1/8” fue de 5124.6 m/s. Un valor bastante alto para el diámetro pequeño del taladro y la densidad solicitada.
- c. Las vibraciones registradas cerca a instalaciones a cuidar como oficinas y plantas están por debajo la curva para edificios tipo II, sin embargo, las frecuencias registradas son muy bajas por lo que estarían ocasionando daños a las estructuras a largo plazo.
- d. Se observó una buena práctica en el tapado de taladros que consiste en el “picado” con una barreta de madera cuando el camión echa el stemming para así evitar los vacíos dentro del taladro ocasionados por la misma geometría de la piedra chancada.

RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda un mejor control en la perforación en donde se ha observado malas prácticas tales como perforación en ángulo dentro de la malla de disparo y muchos taladros cortos.
- b. En taladros sin sobreperforación, el dispositivo de iniciación debe ser ubicado en un sector inferior sin llegar a ser el fondo del taladro, siguiendo la consideración anterior es recomendable contar con una distancia aproximada de 4 veces el diámetro del taladro sobre la base efectiva.
- c. Se recomienda un mejor control en la perforación, sobre todo cuando existen las desviaciones de taladro producto de un mal posicionamiento de las perforadoras ya que origina que exista un mayor espaciado en el fondo del taladro ocasionando toos y desaprovechar la energía del explosivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCALDE, J. (2019). *Emulsión gasificada en reemplazo de heavy Anfo para reducir el P80 en la fragmentación e incrementar la productividad en carguío, acarreo y chancado en mina Shougang Hierro Perú*. [tesis de licenciamiento, U.N. de Trujillo] repositorio institucional U.N. de Trujillo.
- ALCOCER, SALAS, E. (2020). *Propuesta del uso de emulsión gasificada en el carguío de taladros para reducir los costos en voladura en una mina a tajo abierto con depósitos tipo Skarn, Arequipa 2020*. [tesis de licenciamiento Universidad Continental] repositorio institucional Universidad Continental.
- Badajoz, M. (2020). *Tu tesis en cinco pasos*.
- BERNAL, C. (2010). *Metodología de la investigación* (Tercera edición ed.). (P. Educación, Ed.)
- Bernaola, J., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*. DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN DE RECURSOS MINERALES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS, Universidad Politécnica de Madrid.
- CASIANO, P. (2018). *REEMPLAZO DE LA EMULSIÓN MATRIZ MEX 60/40 POR LA EMULSION FORTIS ADVANTAJE GASIFICADA 65/35, PARA MITIGAR LA EMISION DE GASES NITROSOS EN LA UNIDAD DE PRODUCCION LAGUNAS NORTE*. [tesis de licenciamiento, U.N. de Trujillo]repositorio institucional U.N. d Trujillo.
- ENAEX. (s.f.). *Manual de tronadura ENAEX S.A*. ENAEX, Gerencia técnica.
- EXSA. (2004). *Manual práctico de voladura* (cuarta edición ed.). (EXSA, Ed.)
- EXSA. (s.f.). *Manual práctico de voladura, 4ta edición*. exsa.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. (2018). Emulsiones/Hidrogel a granel no sensibilizado
SAN-G APU.

GOMEZ, A. (2019). *ANALISIS COMPARATIVO TECNICO Y ECONOMICO EN LA VOLADURA EMPLEANDO EMULSION GASIFICADO Y HEAVY ANFO 73 GASIFICADO – COMPAÑIA MINERA ANTAMINA – ANCASH - 2018*. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco] repositorio institucional Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

GUERRA, R. (2013). *USO DE EMULSIÓN GASIFICABLE PARA REDUCIR COSTOS DE PERFORACIÓN-VOLADURA EN MINERÍA SUPERFICIAL Y SÚBTERRANEA*. [tesis de licenciatura, U.N. de Ingeniería]repositorio institucional U.N. de Ingeniería.

HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, R. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta edición ed.). (M. e. S.A., Ed.)

Instituto Geológico y Minero de España. (1987). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Instituto Geológico y Minero de España.

LOPEZ JIMENO, C. (1987). *MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA*. (I. G. España, Ed.)

MAMANI, E. (2018). *APLICACIÓN DE EMULSIÓN GASIFICADA (SAN-G) Y SU FACTIBILIDAD EN EL RENDIMIENTO DE COLUMNA EXPLOSIVA DE LA COMPAÑIA MINERA “LA ZANJA” CAJAMARCA 2014*. [tesis de licenciamiento, U.N. Jorge Basadre Grohmann - Tacna] repositorio institucional.

QUISPE, J. (2018). *“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA EN LA VOLADURA DE ROCAS DE LA MINERA LAS BAMBAS – COTABAMBAS, APURÍMAC”*. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional

de San Antonio Abad del Cusco] repositorio institucional Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

REPUBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2003).

Glosario técnico minero. Colombia.

SUEROS, C. (2021). *IMPLEMENTACIÓN DE EMULSIONES ENERGÉTICAS FORTIS*

EXTRA EN ROCA TRAQUITA. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional

Jorge Basadre Grohmann] repositorio institucional Universidad Nacional Jorge

Basadre Grohmann.

SUPO, CAVERO, F. (2014). *FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y PROCEDIMENTALES*

DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN CIENCIAS SOCIALES. (E.

Universitario, Ed.)

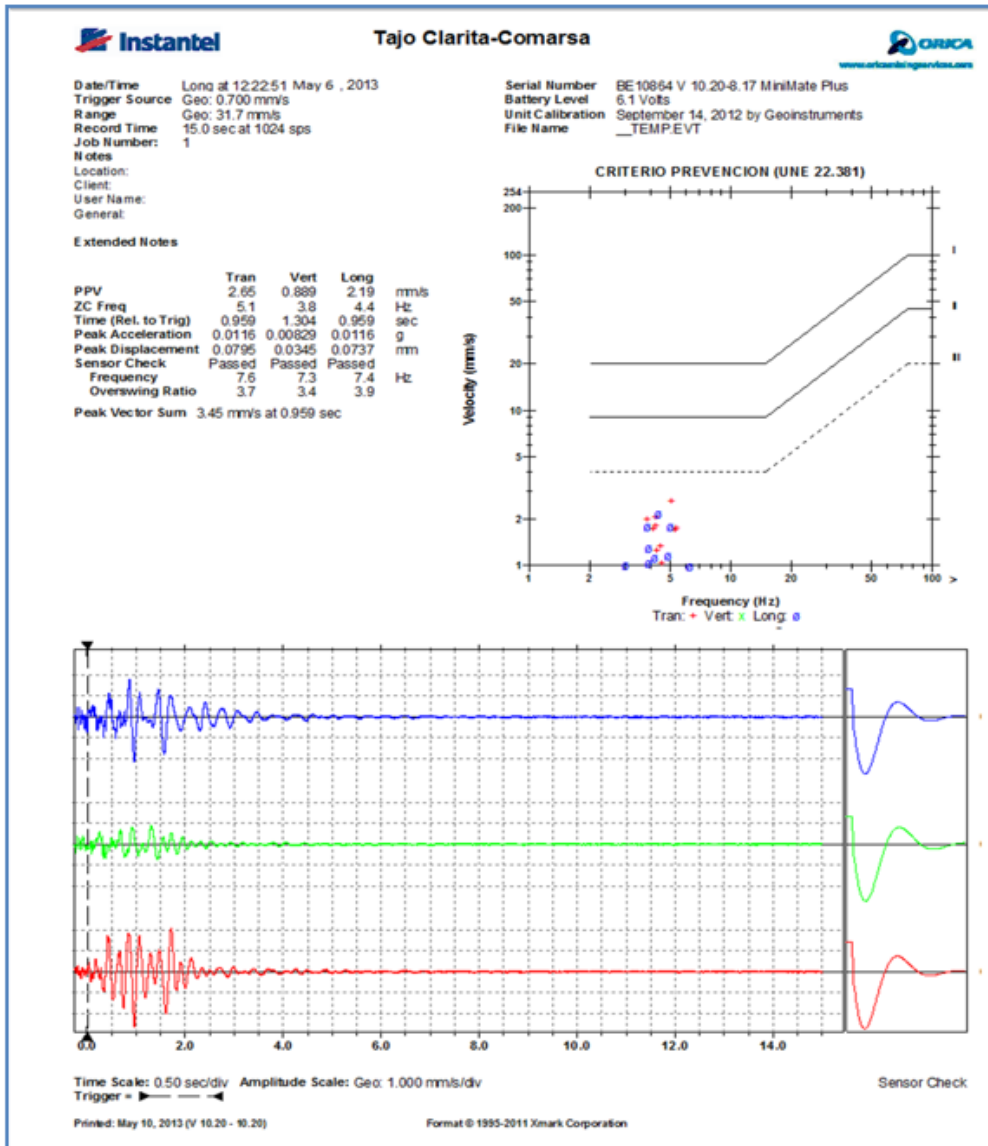
VARA, HORNA, A. (2010). *¿Cómo evaluar la rigurosidad científica de las tesis*

doctorales? (F. e. USMP., Ed.) Lima.

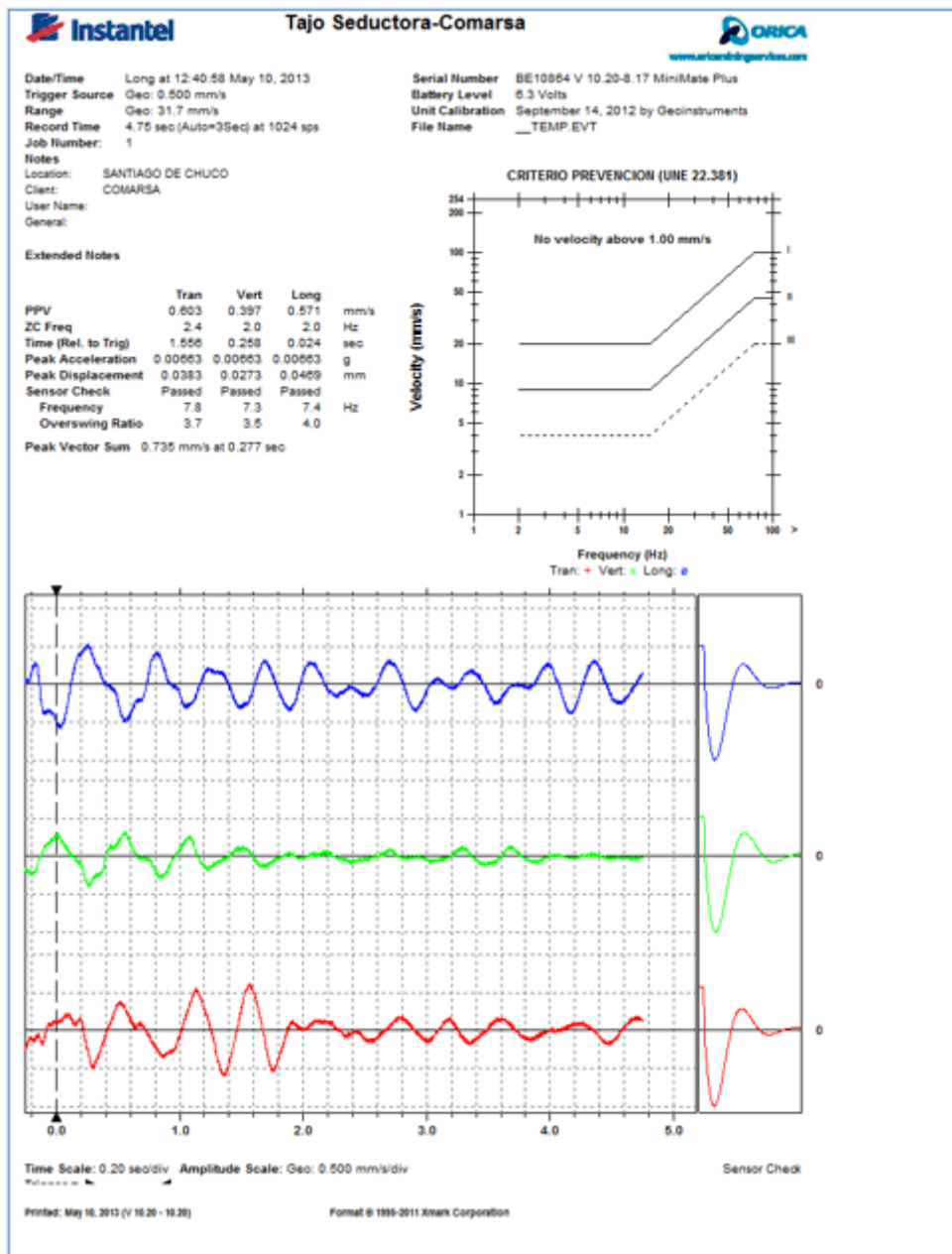
ANEXOS

- Instrumentos de Recolección de Datos.

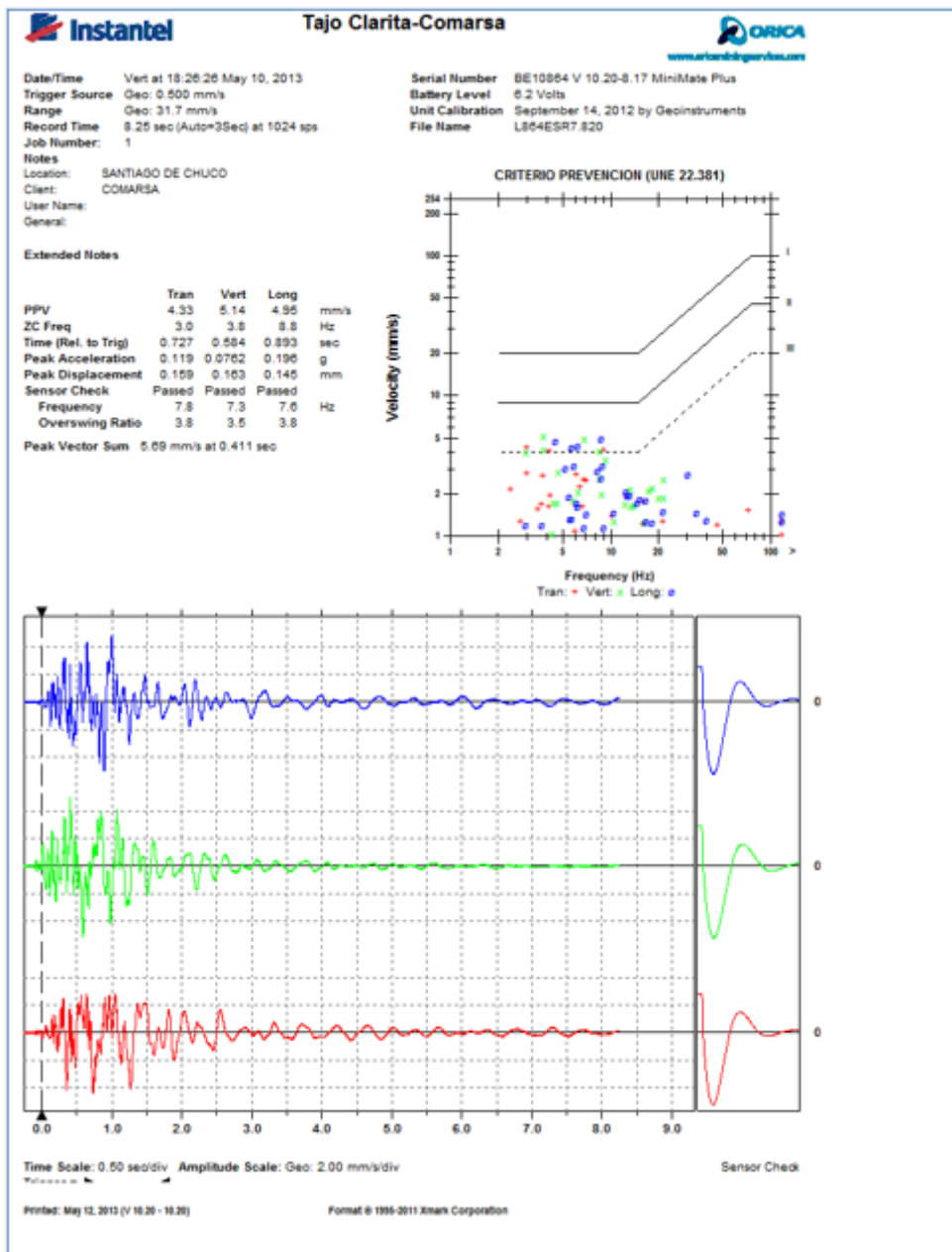
Registro de vibraciones disparo 1 Taja Clarita:



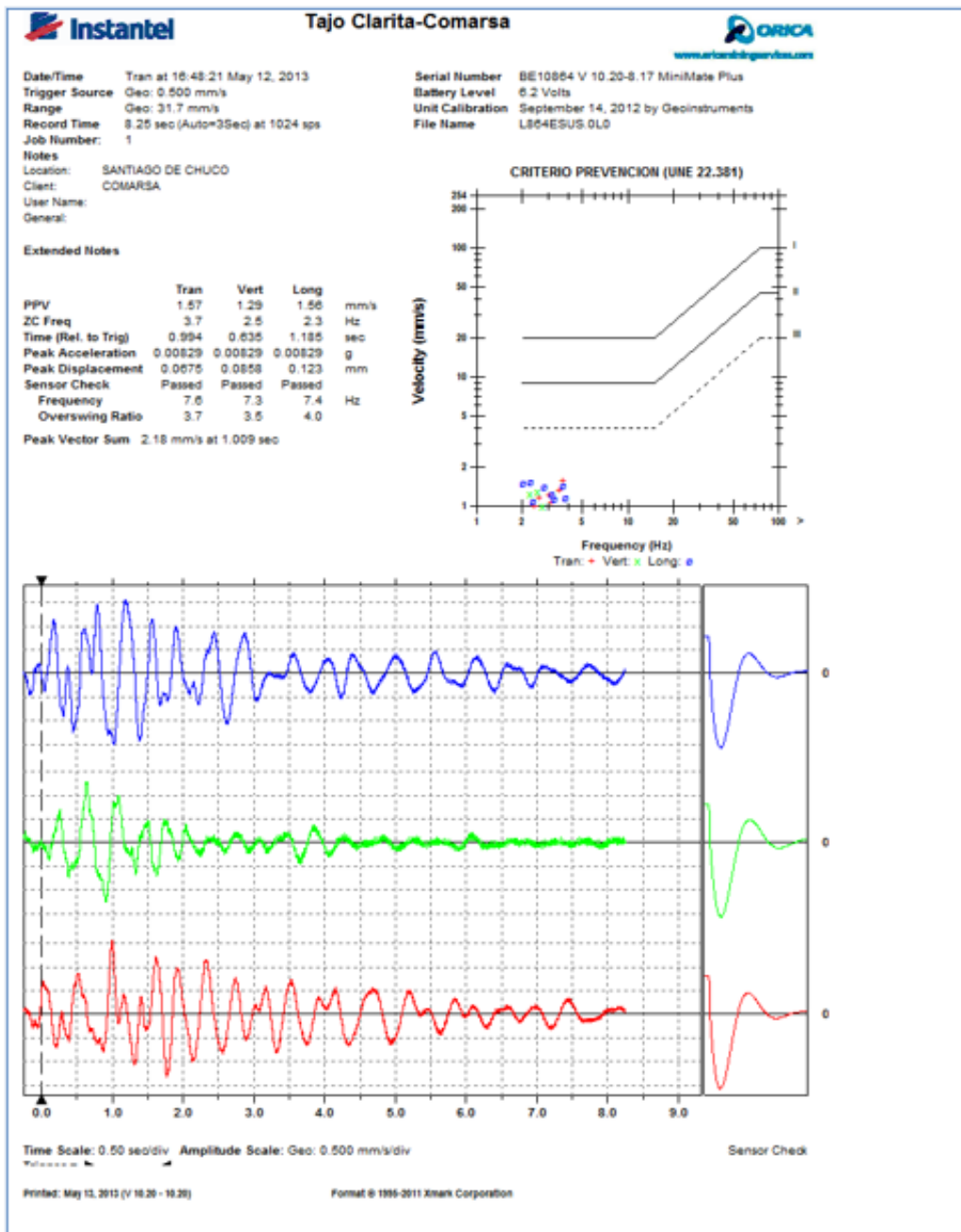
Registro de vibraciones disparo 2 Taja Seductora:



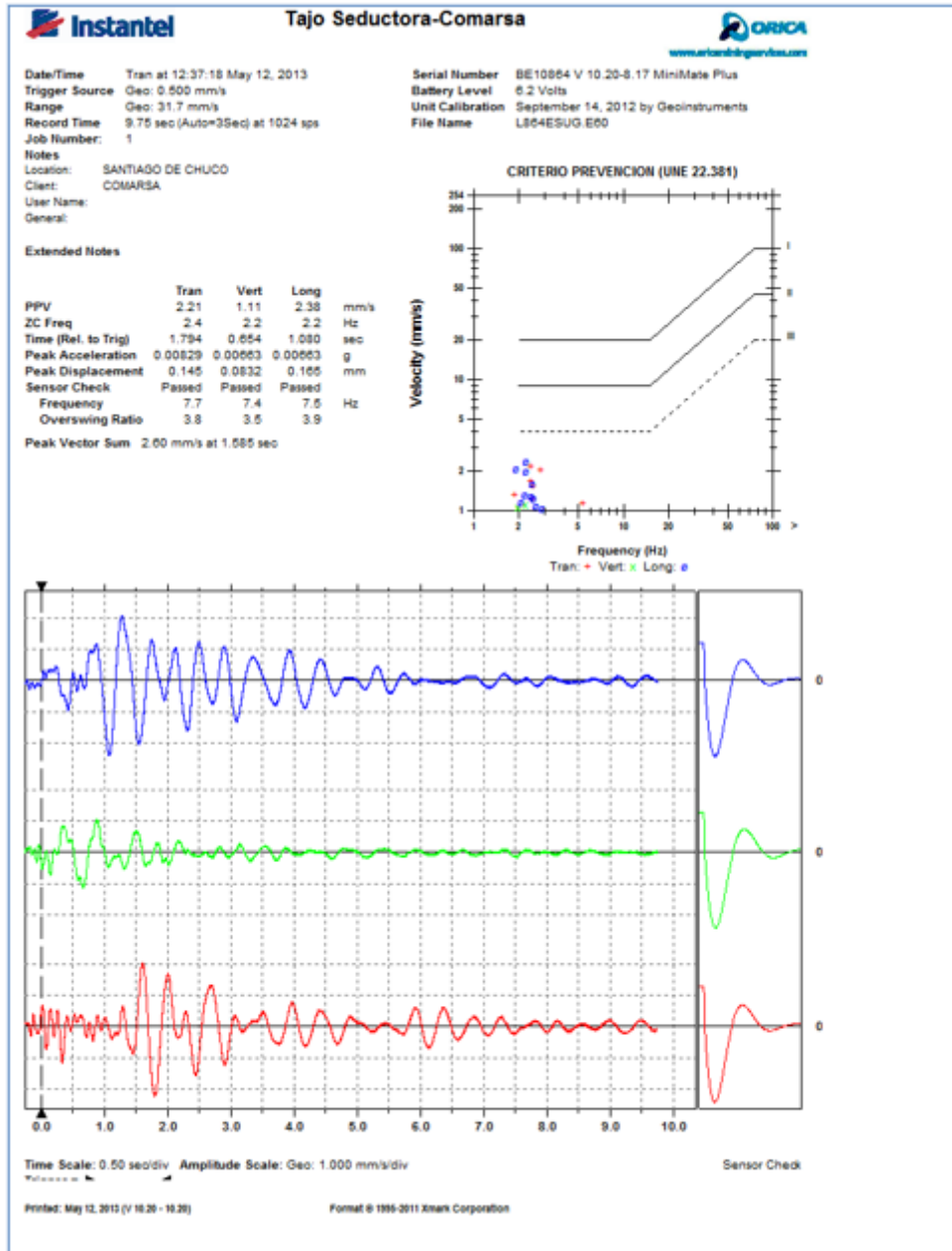
Registro de vibraciones disparo 3 Taja Clarita:



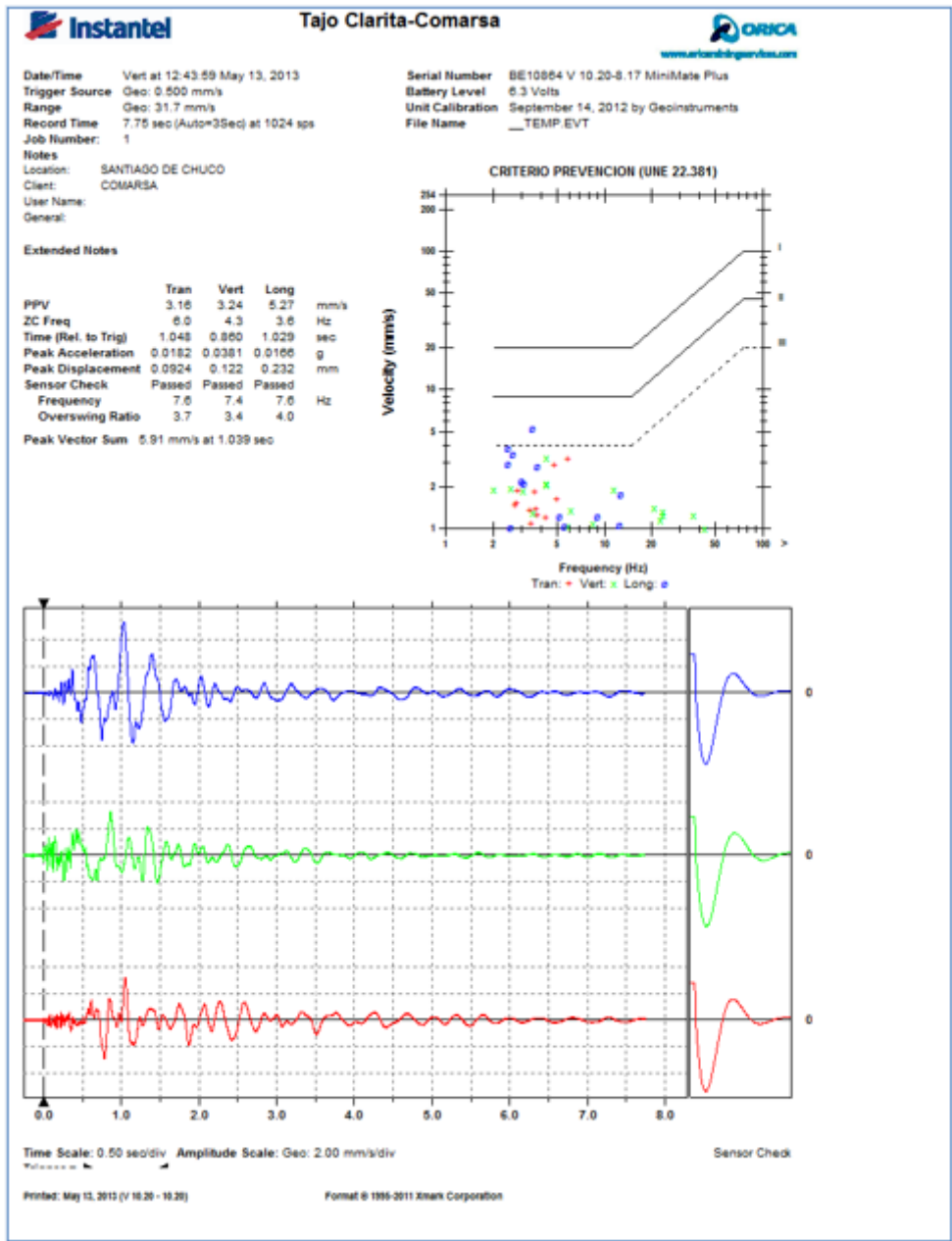
Registro de vibraciones disparo 4 Taja Clarita:



Registro de vibraciones disparo 5 Taja Seductora:



Registro de vibraciones disparo 6 Taja Clarita:



Registro de vibraciones disparo 7 Taja Clarita:

