

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



T E S I S

**Evaluación de la fracción de la voladura mediante el uso de Emulsiones Fortis
TM Advantage, registrada a través de la velocidad de detonación y la
granulometría, en la C.M. Aurífera Santa Rosa S.A. - Comarsa**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Samuel RAPRI NAVARRO

Asesor:

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA

Cerro de Pasco – Perú – 2025

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



T E S I S

**Evaluación de la fracción de la voladura mediante el uso de Emulsiones Fortis
TM Advantage, registrada a través de la velocidad de detonación y la
granulometría, en la C.M. Aurífera Santa Rosa S.A. – Comarsa**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Vicente César DÁVILA CÓRDOVA
PRESIDENTE

Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA
MIEMBRO

Mg. Wilfried Bryan PÉREZ PARRAGUEZ
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"



Firmado digitalmente por CONDOR SURICHAGUI Santa Silvia FAU 20154605046 soft. Soy el autor del documento 12.2025 22:00:26 -05:00



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 058-2025

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 Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. RAPRI NAVARRO Samuel

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo
"Evaluación de la fracción de la voladura mediante el uso de Emulsiones Fortis TM Advantage, registrada a través de la velocidad de detonación y la granulometría, en la C.M. Aurífera Santa Rosa S.A. – Comarsa"

Asesor:

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA

Índice de Similitud: **15%**

Calificativo
APROBADO

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

Cerro de Pasco, 11 de diciembre de 2025.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

A mis padres, por permitirme seguir adelante.

Desarrollándome y capacitándome como profesional.

A mi esposa, por su constante apoyo, entrega y cariño, por servirme de inspiración en cada instante de gran relevancia en mi vida.

A mis maestros, por inculcarme la voluntad de Los conocimientos que adquirí durante mi etapa universitaria.

AGRADECIMIENTO

Esta gratitud está dirigido a varias personas, entre ellas mis amigos, familiares y profesores. También se lo dedico a mi asesor, quien me acompañó de manera incondicional durante todo el tiempo para guiarme en este proyecto que es fruto de mi tiempo y trabajo

Pero yo estaré eternamente agradecida a mis padres que me dieron la vida y, no será en vano por su constante apoyo y perseverancia, que me formaron como persona; por haber hecho una contribución significativa a mi vida y ser el apoyo fundamental en quien puedo confiar cuando las cosas se ponen difíciles.

Gracias a mis maestros, este trabajo ha podido llegar a su fase final. Sin sus contribuciones y enseñanzas, este trabajo no habría tenido el fundamento para el rendimiento académico que supone.

RESUMEN

En el distrito de Angasmarca, en la provincia de Santiago de Chuco y en el departamento de La Libertad, se encuentra "COMARSA", que es la compañía minera aurífera Santa Rosa S.A. La temperatura oscila entre 20 y 30 grados Celsius, lo que indica que el clima es variable. La mineralización se encuentra ubicada en las estructuras y fallas de Santa Rosa y Santa Francisca, donde se presentan partículas de oro libre fino; la geología está en la formación Chimú-Chicama. Las reservas mineras llegan a 40'753,300 TM con una ley media de 0,4 g Au/TM.

La meta de esta tesis es optimizar los resultados de la voladura con el uso de emulsión gasificada Fortis™ Advantage, dado que Comarsa es una compañía minera enfocada en la mejora continua y que la voladura es una de las operaciones unitarias más importantes en el proceso minero. Además, comprender cómo se comporta la velocidad de detonación y establecer las consecuencias de la fragmentación del material volado, con el fin de divulgar los éxitos alcanzados en la mina Comarsa a través del uso de esta emulsión. Además, compartir con el sector minero este avance tecnológico en el área de voladura, que ha sido un elemento significativo para mejorar la productividad y disminuir costos en COMARSA.

La metodología empleada consistió en medir in situ la velocidad de detonación, examinar las ondas y realizar foto granulometría con el propósito de determinar la relación entre rocas y explosivo. La jefatura del sector de perforación y voladura de COMARSA ha revisado y analizado las mediciones y los datos registrados.

Palabras Claves: Comprensión de la velocidad de detonación y las consecuencias.

ABSTRACT

In the Angasmarca district, in the province of Santiago de Chuco and in the department of La Libertad, lies "COMARSA," the gold mining company Santa Rosa S.A. Temperatures range between 20 and 30 degrees Celsius, indicating a variable climate. Mineralization is located in the Santa Rosa and Santa Francisca structures and faults, where fine free gold particles are present; the geology is based on the Chimú-Chicama formation. Mineral reserves total 40,753,300 MT with an average grade of 0.4 g Au/MT.

The goal of this thesis is to optimize blasting results using Fortis™ Advantage gasified emulsion, given that Comarsa is a mining company focused on continuous improvement and that blasting is one of the most important unit operations in the mining process. Furthermore, it aims to understand how the detonation velocity behaves and establish the consequences of blasted material fragmentation, in order to disseminate the successes achieved at the Comarsa mine through the use of this emulsion. Furthermore, it aims to share with the mining sector this technological advancement in blasting, which has been a significant element in improving productivity and reducing costs at COMARSA.

The methodology employed consisted of in-situ measurements of the detonation velocity, wave examination, and photogrammetry to determine the relationship between rocks and explosives. The COMARSA Drilling and Blasting Sector Headquarters reviewed and analyzed the measurements and recorded data

Keywords: Understanding detonation velocity and consequences.

INTRODUCCION

En la minería, un proceso fundamental es la voladura, que en la mina COMARSA se realiza con el explosivo ANFO. Sin embargo, su utilización implica retos importantes, como la generación de gases peligrosos y una fragmentación inapropiada, que impactan tanto el medio ambiente como la productividad. En respuesta a estos problemas, nace la idea de utilizar emulsiones gasificantes Fortis Advantaje TM, un material explosivo revolucionario que promete optimizar la eficiencia de las voladuras. Esta perspectiva se presenta como un caso práctico en COMARSA, con el objetivo de mejorar la carga explosiva, aumentar la eficacia económica y operativa, y fortalecer las normas de seguridad y medioambientales en los procedimientos mineros. El estudio tiene como meta evaluar los controles de voladura utilizando las emulsiones propuestas, por lo que su cobertura geográfica es la de las instalaciones de COMARSA y su cobertura temporal es de seis meses. El trabajo de tesis se justifica por su aporte al conocimiento acerca de las emulsiones gasificantes en la minería, con el objetivo de que tenga un impacto positivo en la industria y en el entorno natural

El Autor.

ÍNDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la Investigación	2
1.3. Formulación del Problema	2
1.3.1. Problema general	2
1.3.2. Problemas específicos	2
1.4. Formulación de Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Justificación de la investigación	3
1.6. Limitaciones de la investigación	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	5
2.2. Bases teóricas - científicas.....	7
2.2.1. Perforación.....	7

2.2.2.	Tipos de perforación	7
2.2.3.	Voladura.....	8
2.2.4.	Factores a tener en cuenta en el diseño de voladura	12
2.2.5.	Influencia que presenta el ángulo de Perforación en la voladura:	13
2.3.	Definición de términos básicos	14
2.4.	Formulación de Hipótesis.....	16
2.4.1.	Hipótesis general.....	16
2.4.2.	Hipótesis específicos.....	16
2.5.	Identificación de las variables	17
2.5.1.	Variables de Hipótesis general.....	17
2.5.2.	Variables para las hipótesis específicas	17
2.6.	Definición Operacional de Variables e Indicadores	18

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	19
3.2.	Nivel de investigación	19
3.3.	Métodos de la investigación.	19
3.4.	Diseño de la investigación.....	19
3.5.	Población y muestra	20
3.5.1.	Población.....	20
3.5.2.	Muestra	20
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
3.6.1.	Técnicas	20
3.6.2.	Instrumentos.....	20
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	20

3.8. Tratamiento estadístico.....	21
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica	21

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	22
4.1.1. Aspectos generales de la mina	22
4.1.2. Geología Regional	27
4.1.3. Estratigrafía.....	28
4.1.4. Geología Local.....	30
4.1.5. Geología del tajo Tentadora.....	31
4.1.6. Geología del tajo Sacalla	34
4.1.7. Geología del tajo Seductora.....	37
4.1.8. Geología del tajo Cochavara.....	41
4.1.9. Magmatismo	48
4.1.10. Geología Económica.....	50
4.1.11. Minería.....	58
4.1.12. Emulsión Gasificada Fortis™ Advantage	74
4.1.13. Aspectos para Determinar la Velocidad y el Grado de Detonación	77
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	89
4.2.1. Determinación de Variables Geodinámicas de Macizo Rcoso	93
4.2.2. Determinación de la velocidad de onda P y S “tajo Clarita”	94
4.2.3. Determinación de la Velocidad de onda P Y S “Tajo Tentadora”.....	96
4.2.4. Determinación de la Velocidad de Onda P Y S “Tajo Cochavara”	98
4.3. Prueba de Hipótesis	103
4.4. Discusión de Resultados.....	103

4.4.1. Análisis de Fragmentación del Material Volado	103
4.4.2. Análisis de Granulometría Mediante Software Wipfrag	106
4.4.3. Análisis estadístico en el carguío	115

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de Variables.	18
Tabla 2 Antecedentes de las voladuras	80
Tabla 3 Antecedentes de las voladuras	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Detonador ordinario.....	9
Figura 2 Detonadores Eléctricos	10
Figura 3 Detonadores No Eléctricos	10
Figura 4 Detonador Electrónico.....	12
Figura 5 Relación entre ANFO y ANFO pesado	80
Figura 6 Proceso de Gasificación Emulsión Fortis Advantage	90
Figura 7 Registro de velocidad de detonación.....	91
Figura 8 Análisis de fragmentación software Powersieve	104
Figura 9 Tabulación de la fragmentación	104
Figura 10 Imagen típica para análisis de fragmentación.	105

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Es evidente que la voladura es una de las operaciones unitarias más importantes en el proceso de minado. Su meta principal es alcanzar un nivel apropiado de fragmentación de la roca, de manera que se obtenga el menor costo en la extracción y simultáneamente se ocasione el menor daño posible en las proximidades de esta.

El departamento de Perforación y Voladura de la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. "COMARSA", utiliza el explosivo SAN-G para la voladura de los tajos. Este explosivo presenta las desventajas de una fragmentación incorrecta, lo que impacta en la productividad, los costos, la seguridad y el medio ambiente.

Tomando en cuenta estos desafíos, se propuso el uso de una nueva clase de emulsión en granel que se sensibiliza in-situ mediante gasificación al ser bombeada a los taladros, llamada emulsión gasificada Fortis™ Advantage, con el objetivo de optimizar el desempeño de la columna explosiva durante la voladura.

Por lo tanto, se propone este estudio en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA) con el objetivo de optimizar el desempeño de la carga explosiva durante el proceso de voladura de los tajos.

1.2. Delimitación de la Investigación

a) Delimitación espacial

Este trabajo ha tenido lugar en los locales de la COMPAÑÍA MINERA AURIFERA SANTA ROSA S.A. - COMARSA.

b) Delimitación temporal

6 meses; mayo, del 2024 – octubre del 2024

c) Delimitación conceptual

Esta tesis se encuentra dentro del contexto de la investigación en voladura con emulsión gasificada Fortis™ Advantage. En el desarrollo de los conceptos se toman en cuenta los conceptos actuales de voladura, emulsión gasificada Fortis™ Advantage, fragmentación y velocidad de detonación. Optimizar

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿Podemos optimizar los resultados de la voladura mediante el uso emulsión gasificada Fortis™ Advantage, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. – COMARSA?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál sería el resultado de la velocidad de detonación cuando usamos emulsión gasificada Fortis™ Advantage en la voladura, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. - COMARSA?

- b. ¿Qué beneficios se logran al fragmentar el material volado mediante el uso de emulsión gasificada Fortis™ Advantage, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. - COMARSA?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Optimizar los rendimientos de la voladura mediante el uso de emulsión gaseosa Fortis™ Advantage, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. – COMARSA.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Conocer cómo se comporta la velocidad de detonación al utilizar emulsión gaseosa Fortis™ Advantage en la voladura, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. - COMARSA.
- b. Determinar los resultados de la fragmentación del material volado mediante la emulsión gasificada Fortis™ Advantage, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. - COMARSA.

1.5. Justificación de la investigación

Esta investigación respalda su ejecución y subraya su relevancia, ya que nos brindará la oportunidad de aportar al avance de los saberes actuales sobre la aplicación de la emulsión gasificada Fortis™ Advantage en la minería.

El trabajo de investigación se centra principalmente en aspectos cruciales como: la voladura con emulsión gasificada Fortis™ Advantage, los hallazgos del estudio de la fragmentación y la velocidad de detonación utilizando la emulsión gasificada Fortis™ Advantage, y divulgar los éxitos alcanzados en la mina COMARSA mediante el uso de la emulsión gasificada, y compartir a la comunidad minera esta innovación tecnológica en el área de la voladura, que en COMARSA se ha vuelto un relevante

elemento para incrementar la productividad y disminuir costos, con ventajas para la seguridad y la salvaguarda del medio ambiente.

1.6. Limitaciones de la investigación

Podemos tener limitación en cuanto a:

- Financiamiento para la elaboración del presente estudio.
- Apoyo de personal capacitado.
- Información de la data actual en cuanto a su operatividad de la investigación.
- Limitaciones en cuanto al apoyo de la empresa no se han encontrado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

a) Antecedentes nacionales.

- **Sueros, (2021)**, en la tesis titulado: “**Implementación de Emulsiones Energéticas Fortis Extra en Roca Traquita**” Su objetivo fue, al emplear la Emulsión Fortis Extra, descubrir sus beneficios técnicos y económicos. El cual concluye que, Gracias al empleo de la emulsión Fortis Extra, se optimizó la voladura en términos de grado de fragmentación de la misma.

La eficiencia de la voladura aumentó en un 20% y la excavación mejoró en un 20%. mejoró un 14.8%, y la velocidad de detonación aumentó, alcanzando en promedio a un aumento del 14.8%. 5698 velocidad/s 5698 m/s.

La malla de perforación aumentó a 8.20 m x 9.50 m, lo que resultó en un ahorro de recursos de 11.50% para cada millón de toneladas que se han disparado.

- **Alcocer, Salas, (2020)**; 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”, como objetivo propone sugerir la utilización de emulsiones gaseosas para disminuir los gastos asociados a la voladura. Las conclusiones a las que llega son: Se llevó a cabo un análisis de la voladura respecto al explosivo utilizado Fortis Max 60, considerando diversos tamaños de tacos empleados y sus costos; Al llevar a cabo la comparación entre la emulsión Fortis Mex 60 que se emplea, se realiza una comparación entre la emulsión Fortis Mex 60 que se aplica. En la actualidad, con las emulsiones Fortis Advantaje de diversas densidades, se observó que los costos se reducen en función de la altura del taco; Cuando utilizamos emulsiones Fortis Advantaje 100 de 1.0 gr/cc, con un intervalo de 6 m., obtenemos un ahorro del 11.0 % mensual en la voladura, lo que resulta muy relevante.

- **Gómez, J. (2019)**, en la tesis titulada: **“Análisis comparativo técnico y Económico en la Voladura empleando Emulsión Gasificado y Heavy Anfo 73 Gasificado – Compañía Minera Antamina – Ancash - 2018.”** El propósito del objetivo es sustituir la emulsión Heavy Anfo 64 y Anfo 73 Heavy utilizando Emulsiones Gaseosas para potenciar la voladura; así como también llegar a la conclusión de que La velocidad de detonación superó a las otras emulsiones alcanzando un aumento del 2.6 % (5856.8 m/s), la fragmentación disminuyó el P80 a 16.6 cm en promedio, en términos económicos, el costo se redujo en un 3.11 % por tonelada, no se produjeron gases nitrosos tras la voladura. No se produjeron gases nitrosos tras la voladura.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Perforación

Según López (2000), se define a la perforación como la actividad dentro del proceso de voladura, la cual tiene como objetivo la formación de huecos cilíndricos dentro del macizo rocoso para que puedan albergar al explosivo y accesorios para la voladura, estos huecos son denominados taladros, barrenos, hoyos o blast holes dentro del proceso.

La realización correcta del proceso de perforación, sirve para conseguir un confinamiento adecuado y así aprovechar al máximo la energía del explosivo para la rotura del macizo rocoso.

La perforación debe tener en consideración información esencial para realizar un informe de perforación, el cual debe seguir los siguientes datos:

- Ubicación geográfica
- Autoridad de la jurisdicción
- Suministros de agua, fuentes.
- Análisis del impacto en las zonas
- Retrospección de las consecuencias en las áreas aledañas
- Un diseño preliminar de lo que será el proyecto

2.2.2. Tipos de perforación

Perforación Manual

Se realiza mediante el uso de barrenos, cuya finalidad es la extracción de manera sencilla, dicho barreno viene a ser utilizado con el soporte de un ayudante, mientras que otro individuo golpea dicho barreno con la ayuda de una comba haciendo girar hasta cierto ángulo para dar comienzo al proceso de perforación.

Perforación Neumática

Realizada de manera convencional, en la cual se emplea la energía que se produce por el aire comprimido para la realización de huecos “Holes”. Mientras se vaya dando golpes al barreno se llega fracturando la roca poco a poco.

Perforación Eléctrica

Realizado con la ayuda de un generador eléctrico que es conectado con una perforadora y éste con un barreno de forma helicoidal, el cual brinda un trabajo de taladros con una profundidad de hasta casi 1 metro de longitud, la dificultad viene a estar presente en el sostenimiento de dicha perforadora porque debe estar en una posición fija para lograr la perforación.

Perforación hidráulica

Este tipo de perforación viene a estar clasificada como una perforación altamente sofisticada, debido al uso de personal robotizado, con una capacidad para avanzar y perforar. Hacen uso de la energía hidráulica en sus transmisiones, logrando controlar la fuerza y los movimientos que se realicen para la perforación. Este tipo de manipulación se realiza con un tablero computarizado y un software de perforación en específico.

2.2.3. Voladura

Según Romero (2016), se entiende como voladura al conjunto de técnicas empleadas para la fragmentación del macizo rocoso, a través de explosivos, ya sean en minas subterráneas o en minas a tajo abierto.

Los sistemas de iniciación de voladura son conocidos como los detonadores, los cuales se pueden emplear en tajo abierto, así como en socavón; esto con la finalidad de lograr el inicio en el barreno, el cual viene a ser el cartucho que llega a comenzar con la explosión.

La elección de detonadores depende de las necesidades del entorno y el cómo se empleará en las conexiones. Se tienen diferentes tipos de detonadores como los siguientes:

Detonadores ordinarios

Es acerca de los procedimientos que se utilizan para iniciar la etapa de la serie de detonaciones secuencial. Debido a sus propiedades, deben poseer el mecanismo de mecha lenta. Se colocará en la sección abierta de la cápsula detonante y se garantizará a través de un encapsulado mecanizado para prevenir que la mecha se desvíe del contacto con el detonador al comienzo de la secuencia

Figura 1 *Detonador ordinario*



Fuente: FAMESA (2017)

Detonadores Eléctricos:

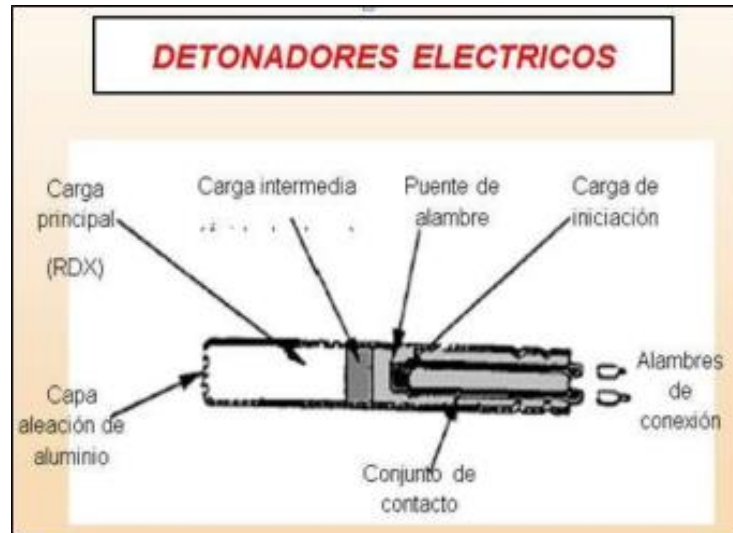
Los detonadores que tienen la propiedad eléctrica son aquellos que se activan de esta forma. Si se caracterizan por ser confiables, posibilitar una preparación adecuada de la voladura y producir resultados apropiados.

El proceso de un detonador eléctrico incluye el flujo de corriente a través de los hilos, que atraviesan una resistencia de cerilla. Este flujo se produce con una intensidad que genera calor y aumenta la temperatura.

Los detonadores que contienen el tiempo se distinguen porque dicha mecha provoca la inflamación.

En cuanto a los detonadores instantáneos, hacen que la cerilla active la carga primaria y, de esta manera, también la secundaria.

Figura 2 *Detonadores Eléctricos*



Fuente: FAMESA (2017)

Detonadores No eléctricos

La detonación comienza cuando las ondas chocan entre sí. Esta onda no afecta a la columna del detonador, lo que le favorece porque le permite iniciarse en el fondo, dado que el reactivo es de mínima cantidad.

Figura 3 *Detonadores No Eléctricos*



Fuente: FAMESA.

Detonador Electrónico

Estos detonadores incluyen un retraso que se aplica mediante un microchip y utilizan la energía almacenada en los condensadores, ya sean uno o varios. Obtienen el retardo de forma electrónica, a diferencia de los eléctricos y no eléctricos, que lo obtienen de manera pirotécnica.

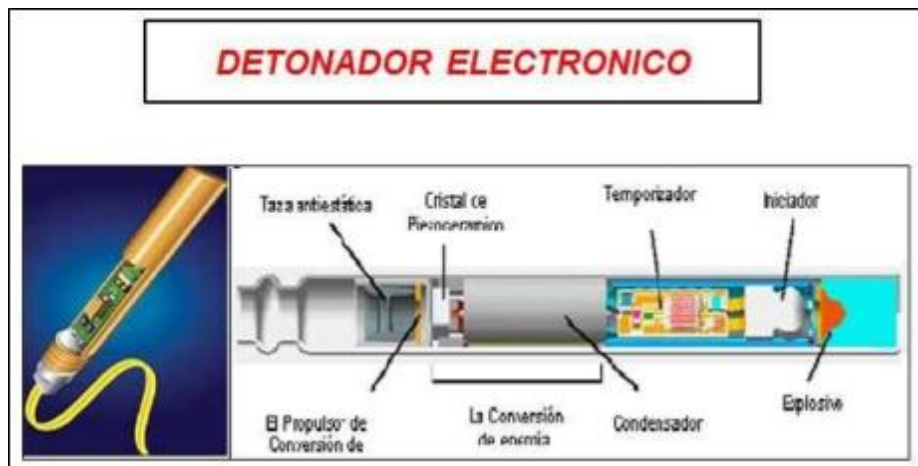
Los detonadores tienen un microchip, que cuenta con su propio número de serie registrado. Cada uno tiene una programación individual y puede hacer explosiones secuenciales con intervalos de 0 a 25 segundos. Si alguno de los detonadores no tiene un código escaneado, se activará solo después de que todos los demás hayan terminado, para evitar el riesgo de que explotan en medio de escombros.

Son detonadores de alta precisión que permiten programar el momento de la detonación con el retraso necesario; solo activan una respuesta eléctrica previamente codificada y tienen una conexión fácil de manejar.

Su versatilidad se manifiesta cuando se cambian los retardos tantas veces como se considera necesario y los resultados de la voladura son superiores a los de otros.

El problema importante con el personal que lo manipula, dado que este debe estar preparado de antemano para esa tarea.

Figura 4 *Detonador Electrónico*



Fuente: FAMESA (2017)

2.2.4. Factores a tener en cuenta en el diseño de voladura

La voladura, según Bernaola, Castilla y Herrera (2013), consiste en la utilización de múltiples técnicas que se fundamentan en el cálculo de medidas heterogéneas. Estas pueden conseguirse mediante el desarrollo de los métodos de explotación. Es fundamental determinar si la voladura es óptima, lo cual puede deducirse siempre que los resultados obtenidos confirmen los objetivos establecidos.

El propósito de una voladura es fragmentar el material y desplazarlo sin dañar otros elementos ajenos a la voladura.

Para alcanzar la meta, se consideran fundamentos esenciales que colaboran con el diseño y el control. Se puede afirmar que los siguientes proporcionan ayuda:

- La cantidad de energía para cada caso que se desea.
- Si la distribución de esta energía no es correcta, existe el riesgo de una fragmentación inadecuada. Por lo tanto, es importante distribuir adecuadamente dicha energía, ya que un producto conlleva una transformación mecánica y química de la misma.
- La energía confinada, para que los gases generados se concentren en los barrenos y no se desperdicie energía.

Además, se sabe que hay factores geométricos vinculados a la explotación directa. Se incluyen entre ellos los siguientes:

- Diámetro que presenta el barreno.
- La altura del banco.
- La inclinación del barreno.
- La cantidad de barrenos.
- La longitud de los barrenos.
- Su distribución.

Bernaola, Castilla y Herrera (2013) sostienen que los factores que influyen en la roca incluyen su macisidad, la cual se puede controlar para alcanzar un rendimiento óptimo durante la voladura. Estos son los factores que influyen:

- Resistencia de la roca.
- Dureza de la roca.
- Sismicidad.

Los explosivos también tienen factores que pueden volverse dañinos si no se controlan adecuadamente; estos elementos inherentes son:

- Densidad.
- Presión.
- Potencia.
- Carga de explosivo.
- Velocidad.
- Secuencia de la voladura.

2.2.5. Influencia que presenta el ángulo de Perforación en la voladura:

Según Bernaola, Castilla y Herrera (2013), la voladura a tajo abierto se lleva a cabo con distintos diseños de barrenos, que pueden ser verticales o inclinados.

Las Dos opciones de barrenos tienen desventajas. Los barrenos deben situarse en paralelo, con la voladura de frente, para mantener un ángulo de inclinación que garantice su estabilidad. La carga disponible en los barrenos se emplea y acumula adecuadamente sin perder ningún tipo de vibraciones.

Una malla amplia contribuye a reducir el consumo de energía del explosivo, pero como inconvenientes de esta inclinación se encuentran que es necesario incrementar el uso de fungibles en la perforación y que la alineación esperada de los barrenos se complica.

2.3. Definición de términos básicos

Agente explosivo: Se refiere a la mezcla de una sustancia oxidante con otro combustible, en concreto se habla de sustancias que no tienen una reacción explosiva por sí mismas, pero que al estar en contacto con el calor generan una explosión. (ENAEX, s.f.)

Detonación: Es una reacción a nivel físico y químico que se distingue por una rápida liberación de energía, la cual emite gases durante su proceso de liberación y provoca un aumento de temperatura. Es particularmente notable por la expansión de fuerza que crea una presión elevada en el medio ambiente y en los cuerpos que lo integran. (EXSA, s.f.)

Emulsión: Es una clase de explosivo que se crea a partir de una emulsión de agua y aceite. Para ello, la sustancia debe estar saturada de aceite mineral y nitrato. Asimismo, es imprescindible incorporar una sustancia gasificante capaz de dispersar burbujas en la mezcla para que sirvan como elementos sensibilizantes. También se pueden incluir esferas de micro vidrio durante la fabricación de esta sustancia para que realicen la función de sensibilización.

Fly rock: Este fenómeno es el resultado de una gestión de la estrategia de detonación, donde cada elemento contribuye a que el material del techo se expulse sin control. Empezando por una carga explosiva excesiva, una mala disposición del taladro para la condonación, un diseño inadecuado de las secuencias de disparo y una deficiente calidad estructural y geológica del cuerpo rocoso.

Fragmentación: El perfil natural de rotura del cuerpo de la roca, así como las propiedades propias del procedimiento de fragmentación, determinan el tamaño que pueden tener los fragmentos distribuidos. (EXSA, s.f.)

Longitud de Carga: Se llama de este modo a la parte activa del taladro en trabajos de voladura; es decir, el lugar donde va a ocurrir la detonación y donde comenzará a dispersarse la presión del material gasificado contra las paredes del taladro. Es esencial que la carga explosiva se reparta de manera uniforme a lo largo del taladro, según lo permitan las condiciones del cuerpo de rocas.

Longitud de Perforación: Es el nivel combinado entre la sobre perforación y la altura del banco, que debería estar a un nivel inferior o igual al piso para asegurar que no haya elevaciones ni lomas que puedan obstaculizar las tareas de limpieza, las cuales tendrán que ser eliminadas con voladuras adicionales.

Longitud de Perforación: Es el procedimiento que activa la detonación al enviar una señal a cada pozo en un tiempo específico. (ENAEX, s.f.)

Taco: Longitud de Perforación: Es el elemento o compuesto inerte que se sitúa sobre la carga detonante para conseguir, de esta manera, un confinamiento apropiado de la energía. Si el taco no logra cubrir el rango indicado, ocurrirá un fenómeno conocido como fly rock, que incluye tanto la proyección de roca como una fuga temprana de gases. Esto conlleva una pérdida de energía y afecta a la capacidad

detonante de la carga. En ambientes húmedos se requiere más cantidad de taco que en los ambientes secos.

Taco: Longitud de Perforación: La velocidad de detonación es el tiempo que tarda en completarse toda la secuencia de explosiones, las cuales se propagan a lo largo de una distancia específica y en un periodo de tiempo establecido, activándose cada secuencia de carga en el momento programado.

Macizo rocoso. Es la estructura geológica natural compuesta por la matriz de roca y sus discontinuidades.

Proceso de voladura. Está compuesto por varios que tienen como objetivo provocar una explosión (voladura).

Roca. Las rocas, que son cualquier combinación natural de minerales, pertenecen a la litosfera (corteza terrestre).

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Si conseguimos utilizar de forma correcta la emulsión gasificada Fortis™ Advantage, podemos optimizar los resultados de la voladura en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. – COMARSA.

2.4.2. Hipótesis específicos

- a) Mediante la utilización correcta de la emulsión gaseosa Fortis™ Advantage, podemos mejorar la velocidad de detonación en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. – COMARSA.
- b) Se Comprobará que el nivel de fragmentación del material volado, utilizando la emulsión gasificada Fortis™ Advantage, es el apropiado en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. – COMARSA.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variables de Hipótesis general

- **Variable Independiente**
Uso adecuado de emulsiones
- **Variables Dependiente**
Mejora de voladura.

2.5.2. Variables para las hipótesis específicas

- **Para la hipótesis a.**
Variable independiente
Uso adecuado de emulsiones
Variable dependiente
Mejora de la velocidad
- **Para la hipótesis b.**
Variable independiente
Uso de emulsiones
Variable dependiente
Grado de fragmentación

2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores

Tabla 1 Operacionalización de Variables.

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Perforación y Fragmentación con Capsulas Softbreaker de la Compañía Minera	En Antamina se verifica el tema de relaciones sociales lo cual con este proyecto, se tiene riesgos en su ejecución por que se consideró hacer uso de otros tipos de explosivos que no generen mayores riesgo es así como se eligió después varios análisis el uso de las Capsulas Softbreaker, que tiene una tecnología destinada a la fractura controlada de rocas y concreto para proyectos que requieran precisión en la fragmentación de la roca, mínima proyección de "fly rocks" y radio mínimo de evacuación.	Planeamiento Minero Operaciones	Perforación Fragmentación Seguridad
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Presa de Relaves y Diques Auxiliare Fase VII de la Compañía Minera Antamina.	Diseñar y analizar la aplicación correcta de shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en las labores de la Mina Coturcan. Optimizando la calidad del sostenimiento donde el tipo de roca varia de composición, resistencia y estabilidad, aplicando el lanzado de shotcrete vía húmeda. La Mina Coturcan depende del avance de las labores de explotación, preparación y desarrollo, por lo que es de gran importancia mejorar el sostenimiento. La aplicación de shotcrete vía húmeda con equipo robotizado, permitira dar mayor velocidad al sostenimiento de las labores, mejorando el ciclo de minado.	Compañía Minera Antamina	Presa de Relaves Diques

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Por su naturaleza, este estudio es APLICATIVO, de acuerdo con las metas y rasgos de la investigación; se sitúan en los niveles descriptivo, explicativo y correlacional

3.2. Nivel de investigación

Descriptivo

3.3. Métodos de la investigación.

Para tratar todos los elementos involucrados en el problema propuesto, se utilizaron técnicas: inductivas, deductivas, análisis y síntesis.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño que utilizaré en la investigación se fundamentará en objetivos, siguiendo el siguiente esquema:

OG = OBJETIVO GENERAL

HG = HIPÓTESIS GENERAL

CG = CONCLUSIÓN GENERAL.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población está formada por todos los trabajos de explotación que se llevan a cabo la voladura en COMARSA, Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A.

3.5.2. Muestra

Se estableció recolectar muestras de los siguientes tajos: Tajo Clarita, Tajo Tentadora, Tajo Cochavara.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

- Las técnicas fundamentales que emplearé en la investigación son:
- Encuestas y entrevistas
- Análisis Documental
- Observación.

3.6.2. Instrumentos

Los instrumentos fundamentales que usaré en la investigación son:

- Guía de entrevista
- Cuestionario
- Guía de Análisis Documental
- Guía de Observación
- Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En el estudio para el tratamiento y estudio de datos, Sigue una secuencia en la que inicialmente presentaremos el diagnóstico de cómo se lleva a cabo la voladura en la mina, para posteriormente revisar la bibliografía relacionada con nuestro tema de investigación. Luego llevaremos a cabo la recolección de datos y el secuenciamiento

para obtener los resultados, con su correspondiente diagnóstico. Finalmente, debido a la discrepancia entre la evaluación y los resultados, se derivarán las conclusiones correctas.

3.8. Tratamiento estadístico

Las unidades experimentales que produce la Perforación y Voladura, para su uso, permiten obtener una evaluación estadística de todos sus procesos y así crear un modelo estadístico que represente todos los resultados logrados.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

Al llevar a cabo nuestra investigación, nuestra meta es proporcionar una respuesta al problema planteado, sin embargo, tal explicación o resultado puede ser tan diferente si nuestro campo de estudio sea distinto al del Ingeniero de Minas, o sea, nuestra guía profesional sobre cierto progreso científico puede ser distinta debido al enfoque inicial de la considerada. En ese contexto, debemos ser conscientes de que poseemos miradas tan distintas al reflexionar sobre la ciencia.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Aspectos generales de la mina

- **Ubicación**

El yacimiento de Santa Rosa, que pertenece a la compañía. Minera Aurífera Santa Rosa SA (COMARSA) está situada en el paraje Pampa Larco, que se encuentra en la provincia de Santiago de Chuco, el distrito de Angasmarca y el departamento de La Libertad, en la ladera occidental de los Andes.

- **Accesibilidad**

Se puede acceder desde la ciudad de Trujillo por una carretera afirmada de segundo orden que tiene alrededor de 160 km. hacia la mina.

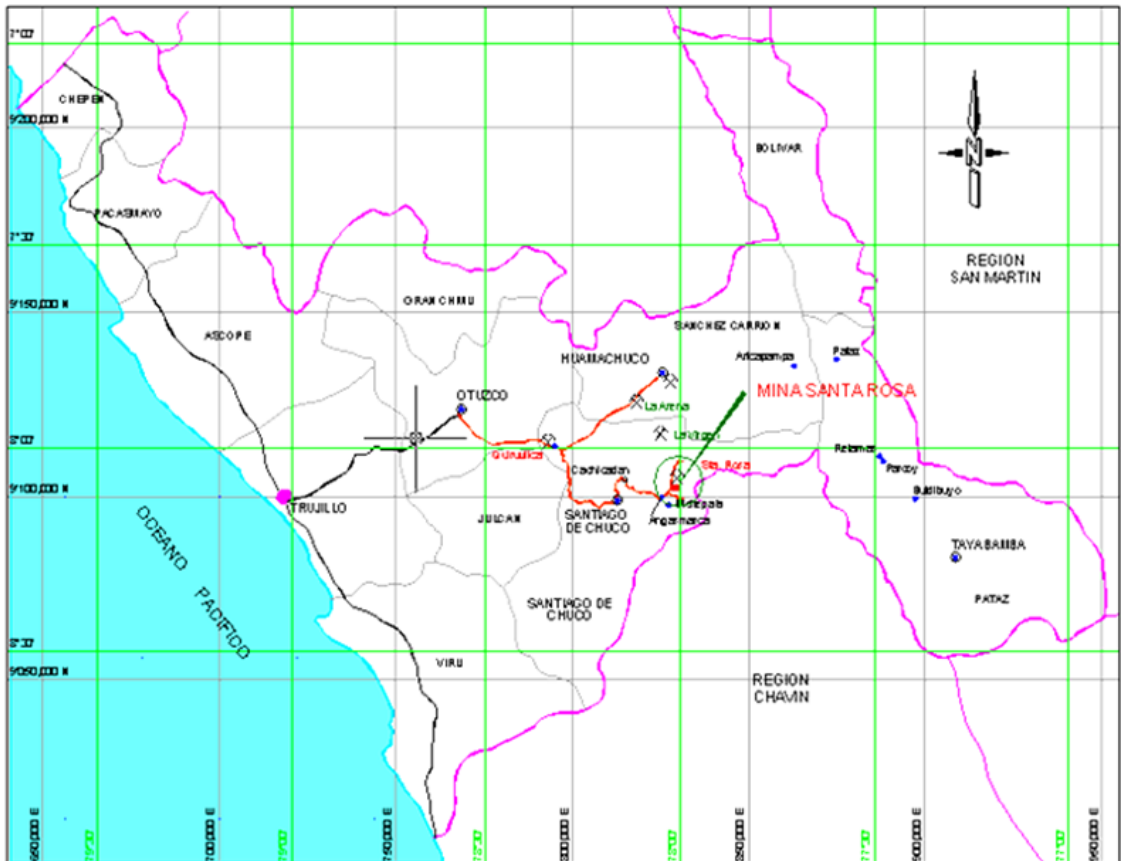
Lima - Trujillo - Santiago de Chuco - Angasmarca - Mina.

Lima - Trujillo - Quiruvilca - Quesquenda - Mina.

Lima - Chimbote - Pallasca - Mollepata - Mina.

Por vía aérea, desde la ciudad de Lima hasta el Altiplano de Tulpo, y luego por tierra, alrededor de 18 km desde esta aldea. hasta la unidad minera, con un trayecto que dura alrededor de una hora.

En el sector de 9 km que va desde la localidad de Angasmarca se encuentra una carretera. que lleva a la mina.



La estructura de las rocas que conforman el altiplano andino tiene cierta relación con su morfología. Las cumbres, como los cerros Calorco, Campana y Angamarca, sobresalen por encima de las zonas erosionadas que resultan de la disposición subhorizontal de las rocas volcánicas y del desarrollo subsiguiente de una superficie topográfica madura.

Es posible que esta superficie de erosión corresponda a la “Superficie Puna”, descrita por MC. Laughlin (1924) en el centro del Perú.

El altiplano se extiende fuera de los límites de Santiago de Chuco. Al Este del río Chuquicara, pasa a un área de topografía muy quebrada y de grandes altitudes hasta alcanzar la Cordillera de Pelagatos que alcanza la divisoria Continental.

- **Clima y Vegetación**

La altitud determina las variaciones climáticas de la región. Se presenta un clima cálido y seco en el fondo de los valles y en la zona baja de los tributarios, con temperaturas que normalmente fluctúan entre 20°-30°C y lluvias más escasas.

El clima en las zonas elevadas, también conocidas como Jalca, es templado a frío. Las temperaturas más altas son de 15° a 16 °C y las más bajas de 5° a 6 °C; en ocasiones caen por debajo de cero grados centígrados durante la noche.

Las precipitaciones de lluvia son frecuentes en estas áreas elevadas entre diciembre y marzo.

- **Historia de la Mina**

La primera operación minera de la empresa fue el yacimiento de Tentadora. Este fue trabajado por informal a pequeña escala, construyendo en los años ochenta pozas rudimentarias de lixiviación que precipitaban el oro con polvo de zinc (Merrill Crowe) y generaban entre 1,5 y 3 kg. de oro mensual.

La compañía. Con el objetivo de operar el denunciado minero Sr. De los Milagros de Trujillo, que ocupa 150 Has, Minera Aurífera Santa Rosa fue establecido el 20 de enero del año 1992 tras establecer un contrato de cesión con esta SMRL.

Las primeras investigaciones metalúrgicas se llevaron a cabo en los laboratorios de Kapes Cassidy And Associates (KCA), en Estados Unidos, y las primeras exploraciones geológicas y trabajos de prospección comenzaron a principios del año 1992.

En septiembre de 1993, se comienza una prueba constante de lixiviación en pilas y recuperación de oro mediante carbón activado. La prueba, que empleó 18 toneladas de mineral, indicó un porcentaje de extracción del 71,95 % durante los 60 días. que endureciendo el proceso de lixiviación.

El 10 de junio de 1993, la Unidad Minera Santa Rosa comienza la fase de edificación del proyecto por primera vez. En esta etapa se llevan a cabo las siguientes tareas: acondicionamiento de plataformas para cargar pilas, preparación de pozas para soluciones del proceso, instalación para las líneas de flujo y establecimiento de la planta ADR (Adsorción, Desorción y Recuperación).

Simultáneamente se edificaron otras construcciones de infraestructura, como campamentos, oficinas, laboratorios, casas de fuerza y talleres.

La operación de carguío de PAD de imprimación mineral e lixiviación comienza en enero del 94, y este entra en funcionamiento de finales del mismo mes. El 24 de abril del mismo año se produjo la primera barra de bullón (oro-plata). Desde entonces hasta ahora, esa producción ha ido aumentando de manera gradual.

La producción de mineral para procesar ha aumentado anualmente, y también se llevan a cabo fases de exploraciones agresivas con el objetivo de extender la vida útil de la mina más allá del tiempo previsto.

En la actualidad, se está llevando a cabo una explotación minera de aproximadamente 6. Entre mineral y desmonte, se manejan mensualmente millones de toneladas, alcanzando 2 millones y 4 millones respectivamente.

En los primeros periodos de extracción de mineral, se disponía de equipos livianos para las tareas. Con el paso del tiempo, anualmente se ha ido ampliando y actualizando la maquinaria utilizada en la producción, como excavadoras, cargadores frontales, tractores y volquetes. Lo que asegura una producción conforme a los programas establecidos por la alta dirección de nuestra compañía.

4.1.2. Geología Regional

Se ha prestado atención preferente a la faja sedimentaria y volcánica en el norte del Perú, que se extiende en dirección aproximada NW-SE.

Es relevante destacar la presencia de este nuevo blanco de exploración en rocas sedimentarias que contienen depósitos de mineral aurífero del tipo relleno de fracturas,

vinculados a una actividad hidrotermal en profundidad que se extiende alrededor de 80 Km. en dirección NO-SE y 30 Km. de ancho promedio.

Estas ocurrencias, que van desde el sur de Consuzo hasta el norte de Cajabamba pasando por Angasmarca-Huamachuco, se dan en la región.

El conjunto estratigráfico Goyllarisquizga, que es de la era del Cretácico Inferior, forma las rocas. Su componente inferior se llama Formación Chimú y está constituido por ortocuarzitas y areniscas, con algunas interestratificaciones de lodolitas y siltitas. Posee capas de carbón, que suelen encontrarse en la parte más baja de esta formación.

Las formaciones Santa, Carhuaz y Farrat, que componen la sección suprayacente del grupo Goyllarisquizga, rocas tienen con composiciones petrográficas similares que las hacen aptas para albergar mineralización de oro. Sin embargo, esto no es así para la formación Chicama infrayacente, compuesta por lutitas de tonalidad gris oscuro.

Fuera del campo de estudio, en la Formación Chimú están las calizas de la Formación Santa y las areniscas y lutitas de la Formación Carhuaz; después siguen las areniscas y cuarcitas de la Formación Farrat, que se asemejan mucho a Chimú. Encima, se encuentran las calizas bituminosas de la Formación Pariatambo y las rocas carbonatadas de la Formación Chulec; todas estas formaciones pertenecen al Cretácico Inferior. En la época del Cuaternario, se sedimentaron sobre las litologías mencionadas materiales detríticos aluviales, coluviales y arcillas glaciales que contenían cantos rodados de cuarcita (tills), por ejemplo: Sector Iglesias-Sacalla.

4.1.3. Estratigrafía

Para determinar la aceleración de la mineralización con la secuencia estratigráfica en el distrito de Santa Rosa, se llevó a cabo previamente un levantamiento

de secciones estratigráficas en áreas del mismo, como Cementerio, Seductora, Sacalla y Tentadora. Esto tenía como finalidad identificar los distintos componentes litológicos que forman parte de la Formación Chimú y cómo estos se relacionan dentro del distrito.

Así, se ha llegado a definir cinco (5) miembros distintivos de la Formación Chimú, estableciendo en cada situación su favorabilidad en el proceso de mineralización, ya sea mayor o menor.

La Formación Chicama, que data del Jurásico Superior, es la que compone la base de la secuencia estratigráfica. Esta incluye una sucesión monótona de limolitas grises y lutitas carbonáceas, además de algunas intercalaciones ocasionales con areniscas y cuarcitas lenticulares en dirección al techo.

La fauna de amonites reportada y la gran cantidad de pirita y materia carbonosa demuestran que estos sedimentos fueron depositados en cuencas profundas, confinadas y con escasez de oxígeno.

La Formación Chicama se convierte poco a poco en las areniscas, lutitas y cuarcitas que pertenecen a la Formación Chimú. Esta formación, de la época neocomiana inferior-media (Cretácico Inferior), posee un grosor de entre 800 y 1000 metros. Muestra una secuencia regresiva que es propia de ambientes sedimentarios continentales en transición, áreas costeras pantanosas y manglares, con capas de carbón esporádicas y grandes barras arenosas que son comunes en entornos fluvio-deltaicos.

Los cinco integrantes de la Formación Chimú, que se muestra en el mapa geológico desde la base hasta el techo, son los siguientes:

Miembro A (espesor: 150-200 m) delgadas intercalaciones de lutitas gris oscuro, limolitas y areniscas de grano medio a fino, con capas lenticulares de carbón y horizontes de cuarcita hacia la parte superior. Esta unidad está directamente debajo de

la Formación Chicama y se le asigna una edad correspondiente al Neocomiano Inferior (Tajos Sacalla, Cochavara).

Miembro B (espesor: 60-150 m) areniscas y cuarcitas de color blanco grisáceo, formadas por capas decimétricas, que incluyen limolitas y lutitas en la parte superior. Representa el horizonte mineralizado más destacado (Seductora, Sacalla y Tajos Tentadora)

Miembro C (espesor: 150-200m) intercalaciones de bancos de cuarcitas con capas de areniscas, lutitas grises y limolitas en estratos de un centímetro. Se forman en la base capas lenticulares de carbón a nivel local. En el techo, hay capas delgadas de areniscas, cuarcitas y lutitas, así como estratos lenticulares esporádicos de calcarenitas gris oscuro y calizas micríticas que contienen restos de turrítelidos (Tajos Tentadora, Sacalla).

Miembro D (espesor 100-350 m) Fuerza de secuencia compuesta por cuarcitas y areniscas de color blanco grisáceo, con grano medio a grueso. Estas presentan capas decimétricas e intercalaciones centimétricas ocasionales de lutitas, limolitas y lentes esporádicos de calizas micríticas gris oscuro. (Clarita Tajos Antarki).

4.1.4. Geología Local

La existencia de dos formaciones sedimentarias, Chicama y Chimú, definen el marco geológico de la zona.

La secuencia de lutitas carbonosas en capas y las lentes de carbón bituminoso que datan del Jurásico Superior son las que componen la formación Chicama.

La formación Chimú está compuesta por areniscas y ortocuarcitas, con algunas capas de lutitas del cretácico inferior. Como es la que alberga la mineralización económica, muestra una fuerte alteración hidrotermal

4.1.5. Geología del tajo Tentadora

- **Ubicación**

El tajo Tentadora está situado entre las siguientes coordenadas UTM:

Norte	9103200	9104200
Este	829200	829900

- **Litología**

La formación Chimú está situada por encima de la formación Chicama, que consiste principalmente en lutitas negras de estratificación delgada y con pirita diseminada. Está compuesto por una serie de cuarcitas grises claras, con un tamaño de grano que va de medio a grueso. En ciertos casos, muestra una textura granoblástica con un aspecto sacaroideo.

Se presenta de manera extensa en el sector oriental del Tajo con un espesor visible de 98 metros, y en el sector occidental del Tajo a través de una secuencia de limolitas y lutitas grises parduscas, que incluyen intercalaciones aisladas de cuarcitas y lentes carbonosas de lutita.

- **Alteración**

Cuarzo-Sericita, Esta clase de alteraciones está presente en casi todos los niveles, siendo moderada o débil. Este tipo de modificación ha tenido un impacto en la matriz de las cuarcitas, provocando que tengan una textura sacaroidea, lo que hace sencillo su reconocimiento debido a su alta disgregabilidad

Silicificación, es moderada a fuerte, siendo esta última la que más prevalece en el lado este del tajo.

- **Geología Estructural**

Es un elemento crucial del control de la mineralización en el tajo tentadora.

La dirección general de las capas es la siguiente: N 165° -170° E y la inclinación que se nota; en el lado este del Tajo, la inclinación oscila entre 40° y 50° hacia el suroeste, mientras que, en el sector oeste, varía de 30° a 40° hacia el suroeste.

Dicha variación es consecuencia del juego estructural de la Falla Tentadora.

Tenemos 02 Sistemas de fallas:

- N166° - N-S, con buzamientos que varían de 35° - 65° W (normal-sinextral).
- N70° E – E-W con buzamiento subvertical –vertical (cinemática normal).

Los rellenos de brechas tectónicas, panizo y óxidos de hierro, así como la presencia de estrías, son rasgos distintivos de las fallas.

Las fallas regionales tienen una dirección media de S06° - 26°W y un buzamiento de 23° - 39° hacia el noroeste y son las siguientes:

Falla Santa Francisca al este

Falla Santa Rosa al oeste

Falla Tentadora

Estas fallas son concordantes en su mayoría a la estratificación.

También se presentan defectos menores (transferencia) con rumbo N60° - 76°E y buzamiento de 69° a 86° hacia el sur; esto contribuye al craquelamiento intenso predominante en las direcciones norte-sur

craquelamiento intenso y en las direcciones norte-sur y este-oeste del tajo tentadora.

- **Mineralización**

En relación con la existencia de fallas más grandes, como Santa Francisca al este y Santa Rosa al oeste, así como de las fallas centrales — por ejemplo, Tentadora, San Andrés, San Agustín, Florida y San Marcos— todas ellas han contribuido a quebrar las rocas. La mineralización se ha alojado en los estratos de cuarcitas y areniscas de la formación Chimú.

Está Caracterizada por la presencia de Óxidos y sulfatos de fierro como:

Goethita	FeO (OH)	-----	Relación con Au
Jarosita	$\text{KFe}_3 \text{(OH)}_6 \text{(SO}_4)_2$	-----	Relación con Au
Hematita	Fe_2O_3		
Turgita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$		
Diáspora	AlO (OH)		
Pirita	FeS_2		
Anatasa	TiO_2		
Escorodita	$\text{Fe (As O}_4)_2 \text{(H}_2\text{O)}$		-Relación con Au
Cuarzo	Si O_2		
Sericita	$\text{KA}_2 \text{(OH, F)}_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}$		y también

- **Arcillas**

La mineralización de oro se produce principalmente en los óxidos de hierro (jarosita, goethita), que están fuertemente relacionados con partículas de oro libre muy pequeñas. También tiene lugar en las brechas hidrotermales y tectónicas.

4.1.6. Geología del tajo Sacalla

- **Ubicación**

El tajo Sacalla está ubicado entre las siguientes coordenadas UTM:

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

- **Litología**

Las cuarcitas de la Formación Chimú del Cretácico inferior, que se encuentran en horizontes estratigráficos que pueden distinguirse por sus atributos de posición, composición y granulometría, son los principales componentes de las rocas que afloran en el Tajo Sacalla.

Los estratos tienen un azimut medio de N 300° E y una inclinación que oscila entre 20° y 30° hacia el noreste.

Horizonte Inferior (Miembro A).- formado por una secuencia estratigráfica de cuarcitas y areniscas gris claro compuestas por grano fino, con oxidación leve (inferior al 0.3%), compacta y débil, que presentade porosidad(inferior al 0.3%), compacta y débil, que presenta porosidad en capas delgadas que alcanzan hasta los 0.15 m de espesor, y hacia la parte superior muestra alternancias con lutita gris alterada.

Horizonte Intermedio (Miembro B).- Formado por cuarcitas de tonalidad gris clara y grano medio, que presentan una oxidación moderada a intensa (hasta un 60%), sobre todo goethita y jarosita. Sus estratos alcanzan hasta los 40 cm de grosor, con alta permeabilidad y porosidad del 10% aproximadamente. En el contacto con la unidad A, se observan dos mantos carbonosos irregulares de alrededor de un metro de espesor.

Horizonte Superior (Miembro C).- Formada por una alternancia fina de areniscas de grano medio, cuarcitas gris claro y horizontes delgados (de hasta 2 cm) de limolitas y lutitas muy finas, con oxidación exótica moderada a débil. Además, en este horizonte se encuentran gruesas capas carbonosas que pueden llegar a tener 40 m de grosor.

- **Alteración**

Conforme a las lecturas efectuadas con el mapeo geológico, la transformación hidrotermal que ha tenido un impacto significativo en las rocas de la región de Sacalla y que muestra la siguiente composición mineralógica:

Cuarzo-sericita, lo que señala que las cuarcitas fueron impactadas por actividad hidrotermal y muestran halos de alteraciones diseminadas en la zona central y también laterales con orientación NW, los cuales funcionan como control mineralógico.

Se observe la zona de alteraciones, que tiene un halo de color blanquecino con una anchura cercana a los 30 metros. La zona de argilización se manifiesta en transición gradual y tiene un frente de 20 metros.

Estas alteraciones han tenido un impacto en la matriz de las cuarcitas, lo que ha llevado a que tengan una textura sacaroidea, la cual se reconoce fácilmente porque son muy disgregables.

En estas áreas de alteraciones, existe la zona con solidificación y oxidación fuerte que resulta de la lixiviación hidrotermal, en la que hay cavidades de lixiviación (boxwork, vuggy silica) y fracturas llenas de óxidos.

El ensamblaje sericita-cuarzo, que es el más común, se da en cristales muy pequeños que llenan las fracturas pequeñas y los espacios intersticiales de las cuarcitas.

Estas modificaciones ocurren en el horizonte intermedio de la Formación Chimú.

- **Geología Estructural**

La zona está estructuralmente impactada por fracturas primarias de dirección andina que son cortadas por fracturamientos secundarios de orientación NE; siendo el fracturamiento NW el que determina la orientación de la mineralización.

Se observa la existencia de drenajes menores paralelos con una inclinación baja, de hasta 20°, en dirección NW. Estos son controles significativos de mineralización y alteraciones del sistema. Estos graduales son en su mayoría paralelos a la estratificación, lo que demuestra que se valieron de los niveles plásticos (horizontes de arcilla) para llevarse a cabo. La mayoría de las secuencias estratigráficas tienen espesores de hasta 50 cm. Se ven afectados por pliegues suaves en los estratos inferiores, mientras que en los superiores aparecen como monoclinales opuestos erosionados.

- **Mineralización**

La mineralización de oro en el Tajo Sacalla se asemeja a la del Tajo Tentadora; está ligada con la existencia de sulfatos y óxidos de hierro, goethita y jarosita, sobre todo, que se encuentran dentro de los horizontes de cuarcitas.

La mineralización se ve favorecida por la permeabilidad y porosidad de las cuarcitas delgadas en términos de grano medio del horizonte intermedio, las cuales fueron adecuadamente fracturadas debido al tectonismo del Ciclo Andino. Estas circunstancias generan una zona con debilidad estructural que permitió la actividad hidrotermal y la deposición de oro.

4.1.7. Geología del tajo Seductora

- **Ubicación**

El Tajo Seductora está ubicado entre las siguientes coordenadas:

Norte	9104100	9105000
Este	828700	829300

- **Litología**

La formación Chimú incluye el tajo Seductora, que está compuesto por dos unidades litológicas: la parte de abajo son cuarcitas y, cubriéndolas, se encuentran las arcillas, areniscas y limolitas.

La capa en el cuadrante SE de Seductora tiene un azimut medio de N 200° E, con un buzamiento de 25° hacia el sur-oeste. En la zona noroeste del área, hay una inflexión que llega a N 120° E y un buzamiento promedio entre 15° y 20° hacia el suroeste, hasta encontrarse con la Qda. Vaca blanca. Por lo general, estos estratos presentan un comportamiento similar al de un monoclinas que se extiende desde el Tajo Tentadora, con pliegues suaves que son perpendiculares al rumbo de la estratificación.

La mineralización en el Tajo Seductora se presenta sobre todo en las estructuras de rumbo NW con inclinaciones ligeramente verticales, que han funcionado como conductos para la aportación de mineralización.

Se ha establecido en la actualidad el contacto entre las formaciones Chimú y Chicama, que se encuentran a una profundidad de 60 metros del banco 3292.

La formación Chicama está compuesta por lutitas carbonosas que contienen pirita diagenética dispersa.

- **Alteración**

El mineral que más se altera es la cuarzo-sericita, seguido en menor cantidad por la diáspora, esta última característica de los depósitos epitermales.

Alteración fílica

Cuarzo-Sericita: La sericita aparece en este conjunto mineralógico como un relleno intersticial; esto altera se reduce a medida que la silicificación aumenta.

Sericitización: Presenta la sericita intersticial pervasiva, que se observa en capas lutáceas modificadas a arcillas y en areniscas de grano medio o fino, como consecuencia de la conversión de las impurezas presentes en la matriz.

Silicificación

Se han identificado dos fases de silicificación.

La primera se presenta como halos a los lados del eje de los "feeders" y disminuye conforme se alejan del centro. Presenta los bordes de los granos de cuarzo con un ligero desgaste.

La segunda, con forma de venillas de sílice blanca y lechosa, algo porosa, que llenan microfracturas y, en ciertas ocasiones, a los "boxworks" (que han sido lixiviados previamente).

Argilización

Ocurre en niveles de lutitas, con creación de minerales como la pirofilita, el caolín y otros tipos de arcillas.

- **Geología Estructural**

En el tajo Seductora, las estructuras con mineralización se encuentran entre N 30° W y N 50° W en promedio. Los buzamientos son levemente verticales y hacia el suroeste. Se observan fracturas que contienen jarosita y goetita, mientras que los halos de alteraciones están compuestos principalmente por silicificación.

Identificamos dos clases fundamentales de estructuras:

Estructuras Primarias o “feeders”:

Se localizan en conjunto con áreas de fallas de rumbo noroeste. Las modificaciones cuarcita-sericita presenta una cuarcita de color blanco y con un aspecto pulverulento.

Estos "feeders", al interceptar niveles lutáceos, crear atrapamientos tanto por encima como por debajo de ellos, lo que provoca un enriquecimiento mineralógico en esas áreas.

La hematita se encuentra principalmente en áreas de falla y persiste en las profundidades a lo largo del eje estructural. El área de influencia es más grande en las áreas próximas a la superficie.

Se han descubierto relictos de azufrerelictos que tienen una mineralización de piritita dispersa finamente sobre las cuarcitas con grano medio, rodeadas por anillos de lixiviación concéntricos, que se observan a través de la oxidación posterior.

La presencia de cinabrio indicaría proximidad a los “feeders”.

Estructuras Secundarias:

Con respecto a las principales, se encuentran paralelas y son fracturas abiertas con óxidos y halos de silicificación cortos; la alteración del cuarzo-sericita no es muy notoria.

Aunque el Tajo Seductora es estructuralmente complicado, ha sido posible identificar algunas de las estructuras más importantes, como la Falla Norte, la Falla Seductora y la Falla Central. Estas fallas tienen una dirección paralela entre sí (NW-SE) y constituyen un sistema en escalones en escalones.

- **Mineralización**

La mineralización, que consiste en goethita y jarosita, es parecida a los tajos Sacalla y Tentadora; se encuentra principalmente en las cuarcitas, con el oro libre ubicado sobre todo en fracturas.

La zona de influencia de esta mineralización en estructuras es alrededor de 20 a 30 metros.

El Tajo Seductora presenta mineralización con diáspora ($\text{AlO}_2(\text{OH})$), la cual ocurre a temperaturas de entre 300 y 350 °C. (Compañía Terry Leach & Cía.). Los minerales más frecuentes son la jarosita, la goethita, la hematita y la diáspora.

La mineralización se sitúa en un área gravemente fracturada, las cuarcitas han sido desintegradas por las alteraciones del cuarzo-sericita, lo que ha ocasionado la pérdida de su textura original y la creación de una textura arenosa de color amarillo-rojizo muy visible en la superficie. Esta última es empleada como guía de mineralización.

El cuerpo mineralizado está delimitado por las lutitas carbonosas de la formación Chicama en el límite inferior y por intercalaciones de areniscas, limolitas y lutitas en el límite superior.

4.1.8. Geología del tajo Cochavara

- **Ubicación**

El Tajo Cochavara está ubicado entre las siguientes coordenadas:

Norte	9105900	9105000
Este	827600	828300

- **Litología**

Las cuarcitas de grano fino a medio, las areniscas de grano fino y las limolitas, con algunas estratas esporádicas de lutitas, son los componentes predominantes en los afloramientos localizados en el Área Cochavara. También hay secuencias intermedias rítmicas de cuarcitas de grano medio. Debido al proceso de estratificación en la Formación Chimú, se han establecido cuatro horizontes principales, organizados desde el más viejo hasta el más nuevo:

Miembro A.- Se compone de una intercalación de cuarcitas con grano fino en estratos de 10 a 30 cm. de grosor, que van del gris claro al gris, y se mezclan con lutitas exfoliables de color gris oscuro; a veces también tienen pirita diseminada.

Las areniscas se observan en áreas intermedias un poco frágiles y en estratificación laminar rítmica con lutitas carbonosas.

En la zona superior, junto al contacto con el horizonte "B", se puede apreciar que hay una cantidad más alta de lutitas carbonosas y una presencia

más elevada de sulfuros, los cuales han dado lugar a sulfatos de cobre debido a la lixiviación reciente del intemperismo. Se observe una lente de caliza gris de 0.60 metros en la quebrada Cruce, ubicada en la parte superior de este horizonte. La parte inferior de las quebradas Cementerio y Cruce tiene la exposición más óptima del horizonte "A", lo que ha posibilitado que se calcule su potencia en 170 metros.

Miembro B.- Consiste en estratificar de forma continua cuarcitas de grano fino a medio, que son de color blanco o gris claro. En secciones con textura de tipo sacaroidea, en capas de entre 10 y 50 cm, que pueden crear bancos de hasta 6 m de grosor, y con algunos horizontes aislados de limolitas. Ocasionalmente, también hay capas delgadas de lutitas grises claras a blanquecinas cerca del contacto con el Horizonte "C".

Se encuentra en la zona central de la ladera del Cerro Chualluega, particularmente en las quebradas Cementerio y Cruce, donde la erosión ha dejado al descubierto mejores estas rocas, las cuales se observan muy fracturadas y presentan tonalidades amarillas y blanquecinas. También se puede observar en los niveles intermedios de la operación de Tajos en la Mina Santa Rosa. Se Ha calculado su potencia en 120 metros.

Miembro C.- Se componen principalmente de una sucesión de areniscas de tonalidades grises claras y plumizas a blancas y gris pardas, alternadas con cuarcita fina, así como con algunas capas delgadas intercaladas de lutitas grises verdosas, violáceas a gris parduzcas, que son quebradizas por la acción del intemperismo.

Por encima de la cota 3,530 aparece una sucesión de cuarcitas de grano medio, con un grosor promedio de 10 m. Estos son de un gris claro,

presentan fracturas profundas y están cubiertas por óxidos de hierro. Parece que esta secuencia es la parte media de este Horizonte, por lo que hacia la zona superior (afloramientos en Cochavara) se repite la misma alternancia anterior. En esta región, se observa un ligero aumento de lutitas en comparación con la parte inferior de este Horizonte.

Miembro “D”.- Se compone de una secuencia fuerte de areniscas y cuarcitas blancas grisáceas, con un tamaño de grano que va de medio a grueso, dispuestas en capas decimétricas. A veces se intercalan limolitas plomizas también decimétricas. Se manifiesta en las zonas más altas de la Mina Santa, destacándose más en los cortes de la carretera que va de Rosa a Huamachuco, como Antarky, Clarita, Cerro Blanco y otros. Su potencia es alrededor de 150 metros.

- **Alteración**

Argilica avanzada:

Se distingue por la presencia de pirofilita, sericita, cuarzo y diáspora. dumortierita, señalan que las cuarcitas sufrieron la actividad hidrotermal.

El ensamblaje de sericita y cuarzo se manifiesta en cristales muy delgados que llenan las cavidades intersticiales de las cuarcitas, así como en el relleno de fracturas menores.

Las zonas impactadas por esta fuerte alteración tienen un color blanco y son muy desmenuzables y frágiles.

Silicificación

Se encuentra entre los halos de transformación argílica y está vinculado a la existencia de óxidos generados por la lixiviación hidrotermal de los

sulfuros férricos, cavidades de lixiviación y venillas finas de sílice que rodean los planos de fractura.

- **Geología Estructural**

Las rocas de la Formación Chimú que aparecen en el Proyecto Cochavara y en toda la región minera de Santa Rosa están plegadas, lo que forma sinclinales y anticlinales con dirección andina NNW-SSE.

A nivel regional, el área está atravesada por fallas en dirección NE-SW y NW-SE. En ciertas ocasiones, estas fallas que constituyen un sigmoide distrital han accionado como canales de alimentación para las soluciones mineralizantes.

Las estructuras NNW-SSE son las más viejas y probablemente han operado de manera distinta a medida que la dirección del esfuerzo principal se ha modificado, como fallas de rumbo en épocas de colisiones oblicuas entre placas, fallas inversas durante episodios de choque ortogonal o como fallas normales en fases de distensión de los esfuerzos. Estas carencias son líneas mineralizadas significativas que se encuentran en los diversos corredores estructurales de la región norte de Perú.

Las estructuras ENE-WSW son fallas de transferencia que se encuentran casi perpendiculares al rumbo del arco andino, y su relevancia metalogénica ha sido identificada recientemente en esta área de la Cordillera y en distritos mineros significativos como Antamina o Yanacocha.

La intersección de fallas de los dos sistemas generan el espacio requerido para la colocación de los domos volcánicos e intrusivos

hipabisales de época terciaria y determina dónde se encuentran las principales reservas minerales en el distrito minero de Santa Rosa.

- **Mineralización**

La mineralización en el área de Cochavara se encuentra principalmente en las cuarcitas fracturadas de la Formación Chimú. En menor medida, también está presente en las limolitas o lutitas, pero solo cuando las estructuras vetiformes cruzan estas últimas.

Los fluidos mineralizantes han utilizado áreas de debilidad (fallas) que han funcionado como conductos para la alimentación, el ascenso y la mineralización de las zonas con mayor permeabilidad. Se han formado áreas de fracturamiento severo, sobre todo en rocas frágiles como las cuarcitas de la Formación Chimú, debido a la fuerte falla pre-mineral causada por los esfuerzos tectónicos que ha soportado toda el área. Esto ha creado espacios o vacíos que son perfectos para que los fluidos mineralizantes circulen y se depositen más adelante.

La mineralización de sulfuros se ha convertido en óxidos debido a una fuerte transformación supergena e hipógena que llega o incluso supera los 250 metros de profundidad en algunas zonas. Como resultado, encontramos sulfatos y óxidos de arsénico y hierro, incluyendo limonita, hematita (Fe_2O_3), goethita ($\text{Fe}_3\text{O}(\text{OH})$), jarosita ($\text{K}_2\text{Fe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_6$), así como escorodita ($\text{AsO}_4\text{Fe}_2\text{H}_2\text{O}$). Este mineral final es el resultado de la oxidación de la Arsenopirita (FeAsS) y aparece en conjunto con la Pirita (S_2Fe). Estos dos minerales mencionados previamente aparecen a veces formando núcleos aislados o pequeños remanentes no alterados.

- **Geología Estructural**

El distrito minero de Santa Rosa está formado por un sinclinorio considerable de 3,5 km. de amplitud, con dirección andina de NW a SE y que tiene impacto sobre todos los integrantes de la Formación Chimú.

Dado que las capas de cuarcitas son más competentes que las limolitas y lutitas, que son más plásticas e incompetentes, se generan en las cuarcitas pliegues suaves y en las capas plásticas un plegamiento más intrincado y disarmónico.

Así, muchas de las fallas observadas tienden a formarse en beneficio de los contactos entre cuarcita y lutita/limolita, aprovechando la ductilidad de estas últimas. Las capas de carbón, del mismo modo, han accionado como horizontes de despegue al desarrollar fallas dúctiles. En cambio, las cuarcitas, siendo más competentes, han reaccionado de manera frágil a los esfuerzos, rompiéndose con fuerza en las áreas de falla (cataclasis) y provocando la aparición de bandas y brechas de cataclasitas.

Más tarde, se emplearon estos canales de alta permeabilidad para el flujo de fluidos hidrotermales y como sitios propicios para la sedimentación mineral.

Hemos detectado dos sistemas de fallas principales: uno va de NNW a NNE, es paralelo al eje de los pliegues.

Las estructuras que se extienden de NNW a NNE son las más viejas y es probable que hayan operado de manera distinta a medida que la dirección del esfuerzo principal ha cambiado: como fallas inversas durante episodios ortogonales de colisión, como fallas normales en periodos de relajación y como fallas de rumbo cuando las placas chocan oblicuamente. Estas

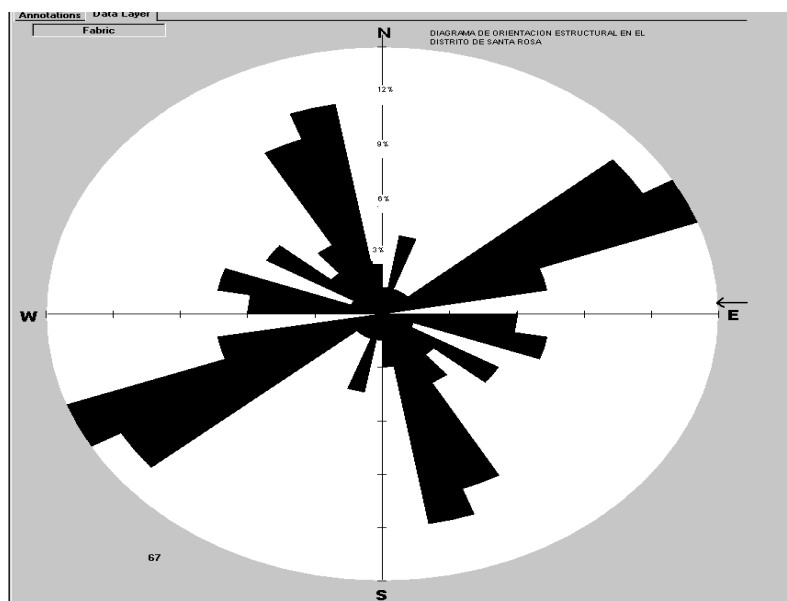
deficiencias son directrices mineralizadas relevantes, como el corredor Tentadora-Seductora-Giuliana, en el lado este del Sinclinorio de Santa Rosa.

Las estructuras NE a E-W, que son fallas de transferencia, tienen una perpendicularidad aproximada con respecto al rumbo del arco perpendicular andino y con respecto al rumbo del arco andino y se manifiestan mejor en el corredor estructural de la Falla San Francisco, la cual cruza el tajo Tentadora.

La relevancia metalogénica de estas estructuras transversales ha sido recientemente identificada en esta zona de la Cordillera y en otros distritos mineros significativos, como Yanacocha, Cerro de Pasco y Antamina.

La ubicación de los principales depósitos minerales que se conocen en Santa Rosa está regulada por la intersección de fallas de los dos sistemas, además esta intersección proporciona el espacio requerido para establecer los domos intrusivos e hipabisales volcánicos de la era Terciaria

Diagrama de Orientación de Estructuras en Santa Rosa



4.1.9. Magmatismo

- **Generalidades**

El distrito de Santa Rosa se encuentra muy cerca del límite oriental del cinturón volcánico Calipuy, que está formado por una serie robusta de lavas y rocas piroclásticas andesíticas de edad Mioceno inferior-Oligoceno superior.

No se han encontrado rocas volcánicas en el distrito; Probablemente estas fueron erosionadas con el paso del tiempo. Por lo tanto, la actividad magmática se encuentra restringida a la presencia de varios cuerpos intrusivos que surgen como stocks y diques, así como silla de tamaño reducido, los cuales están ubicados en la secuencia sedimentaria de las Formaciones Chimú y Chicama.

El stock de Llamo Llamo es el intrusivo más importante, y se encuentra en el cerro del mismo nombre, que está ubicado en la frontera occidental del distrito. Este El cuerpo tiene un tamaño estimado de 3 km. x 1 a 1,5 km. y una ampliación de dirección NW-SE. Llamo Llamo es un pórfido de textura hipidiomórfica que presenta fenocristales de biotita, plagioclasa y hornblenda, así como una presencia muy baja de cristales de cuarzo (1%-2%).

Este stock se sitúa en la base de la Formación Chimú, en el punto donde las cuarcitas competentes de Chimú y las limolitas plásticas de la Formación Chicama tienen un contraste geológico que crea el espacio y las condiciones propicias para la intrusión.

En el sector de Alto Chira, el intrusivo aparece muy alterado a arcillas-pirita±sericita y, a veces, desarrolla venillas y stockworks de cuarzo-jarosita-goethita con diferentes cantidades de oro-plata-arsénico.

El domo dacítico de Chuca está ubicado al norte de Llamo Llamo. Este El cuerpo se extiende hacia el norte-noreste y tiene una longitud de cerca de 3 kilómetros. y un ancho máximo de 1 km en su zona media. Se caracteriza por una textura porfirítica que contiene cristales bipiramidales de biotita (10%) y cuarzo (30%-35%) en una matriz afanítica gris claro con un ligero contenido de arcilla. Este cuerpo se localiza en el fondo de las areniscas y cuarcitas del Miembro D, que forma parte de la Formación Chimú.

Pequeños sills y diques de pórfido feldespático, que han sufrido una fuerte alteración a arcilla-pirita-sericita, están presentes en la Formación Chimú. Estos siempre tienen relación con la mineralización aurífera, tal como sucede en Sacalla, Tentadora, Chancadora, Ucumali y Colorado.

Las estructuras de rumbo NNW y NE controlan la localización de los cuerpos magmáticos, sobre todo en las intersecciones de ambos sistemas. Aunque existen pequeños diques y sills situados de acuerdo a estructuras favorables hasta la base del Miembro E superior (ver figura 2), el emplazamiento de los cuerpos principales de pórfido feldespático parece estar situado en la parte inferior de la Formación Chimú. Según Noble y McKee (1999), el magmatismo de Llamo Llamo tiene una edad de 8.8 ± 0.4 MA, lo cual podría indicar que se trata de un evento de reactivación tectonomagmática vinculado con la Fase Orogénica Quechua II.

4.1.10. Geología Económica

- **Características Metalogénicas**

En la cordillera occidental de los Andes, en el norte peruano, la faja metalogénica y miocénica está compuesta por una amplia cantidad de depósitos hidrotermales de variada índole que fueron ubicados entre hace 6 y 20 millones de años.

Investigaciones recientes acerca del corredor aurífero septentrional han elaborado dos subfajas de depósitos que se formaron en breves intervalos de tiempo:

Un conjunto de yacimientos auríferos en la zona norte del Perú que incluye a Quiruvilca y Pierina, situadas en el sector occidental de la franja metalogénica.

Una segunda subfaja que engloba la explotación de Cu en Michiquillay, Cerros Corona; Minas Conga, El Perol, Huaquillas, Galeno y El Toro, los cuales se ubican en el flanco oriental del cinturón aurífero de la franja metalogénica.

Sin embargo, hay una subfaja de edad miocénica tardía que se sitúa entre las dos mencionadas previamente. Esta incluye un número considerable de depósitos mineralizados, prospectos y proyectos ya identificados, con características propias de la mineralización aurífera diseminada que tiene lugar dentro del grupo sedimentario Gollarisquizga, perteneciente al cretácico inferior. A esta franja geográfica se le ha asignado el nombre "corredor aurífero septentrional del Perú".

Aunque Existen varios depósitos de oro distribuidos por toda la cordillera de los Andes, los departamentos de Cajamarca, Ancash y La

Libertad son responsables de la mayor parte de la producción aurífera nacional.

La mineralización de los depósitos de oro en Santa Rosa es un tipo especial que se ha descubierto únicamente en Perú, en las formaciones sedimentarias del Cretácico Inferior, específicamente en la Franja Aurífera del Norte. Otros depósitos semejantes identificados en esta provincia son La Arena, La Virgen, Minaspampa, El Toro, Igor y Algamarca.

En el distrito de Santa Rosa, se presenta una mineralización Au-Ag-Cu-As-(Sb-Pb-Hg-W-Sn-Bi) que tiene lugar en venillas, vetas, stockworks, brechas y diseminaciones. Estas últimas generan formaciones lenticulares y mantiformes en areniscas, cuarcitas limolitas y lutitas de la Formación Chimú. La fuerte oxidación ha dado lugar a una mena de Au-Ag-As que puede ser lixiviada en pilas.

La preparación estructural es esencial en la formación de estos depósitos.

La fracturación intensa de las cuarcitas produce una permeabilidad secundaria destacada, que sirvió como vía para la circulación de los fluidos hidrotermales mineralizantes.

La presencia de "sellos" plásticos de limolitas/lutitas interestratificadas entre estratos de cuarcita y a la parte superior de los miembros de cuarcita crea trampas estratigráficas que limitan el movimiento ascendente de los fluidos y promueven su atrapamiento y circulación lateral. Esto da lugar a sobrepresión, fracturación hidráulica, brechificación, alteraciones de la roca caja y Recipiente de las menas metálicas. Las brechas son comunes y, en muchas ocasiones, representan áreas de "alta ley". Suelen ser polifásicas y

tectónicas al principio (de tipo craquel o mosaico), pero luego han sido retrabajadas debido a la circulación de fluidos hidrotermales.

La mineralización se ubica en estructuras de primer orden que tienen rumbo NNW (Antarki, Tentadora) y/o en ramales o splays de segundo orden relacionados con las anteriores (Seductora, Sacalla). La intersección de estas mismas estructuras con corredores estructurales que van desde el NE hasta el EO parece ser un control primario para la ubicación de la mineralización (Antarki, Seductora y Tentadora).

La mineralización se lleva a cabo principalmente en los Miembros A y B de la Formación Chimú, que están formados por areniscas y cuarcitas de grano medio o grueso (como Seductora, Sacalla y Tentadora). Hay una mineralización menor en las intercalaciones de cuarcitas, lutitas y limolitas en la parte superior y la inferior del Miembro A, así como en la base de los Miembros C y E. En la intersección del pórfido feldespático Llamo con las limolitas y lutitas que se encuentran en la parte superior de la Formación Chicama, también identificamos mineralización en forma de stockworks compuestos por venillas muy finas.

Los sulfuros polimetálicos han experimentado una fuerte oxidación que llega y supera los 250 metros de profundidad en ciertas áreas (Sacalla, Seductora), lo cual ha provocado la transformación de su mineralización original. La oxidación es un proceso fundamental que convierte estos depósitos de oro de muy bajo valor y ley en yacimientos altamente rentables con costos operativos reducidos. La combinación excepcional de factores como la permeabilidad alta de las cuarcitas y areniscas, el fracturamiento intenso, las condiciones climáticas, hidrogeológicas, geomorfológicas y

estructurales propicias, y el alto contenido de pirita en la mena original han contribuido al desarrollo extraordinario del perfil de oxidación en Santa Rosa.

Los minerales de los sulfuros primarios hallados en las perforaciones diamantinas de Churges (Lhene y Ocharan, 2003; Rivera, 2003) revelan que la mineralización original en el fondo de Sacalla es multifásica y compleja. Esta está formada por diferentes proporciones de arsenopirita (FeAsS), rentita ($(\text{Cu,Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$), tetraedrita ($(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), calcopirita (CuFeS), galena (PbS), bornita (CuFeS), enargita (Cu_3AsS_4), bismutinita (Bi_2S_3), wolframita ($\text{WO}_4(\text{Fe,Mn})$), argentita (Ag_2S), telururos de plata, antimonio y bismuto y electrum (Au,Ag). Según Lehne y Ocharan (2003), el oro se encuentra en pequeñas partículas encerradas en pirita arsenical, pirita y/o arsenopirita; También puede estar asociado con teluros (?) o aparecer libremente como electrum.

Los azufres primarios se han desintegrado en el entorno de oxidación, y los elementos más móviles, como el plomo y cobre, fueron lixiviados de manera intensa. Solo queda una mineralización secundaria compuesta por óxidos de hierro (goetita, limonita±hematita). En este caso, la mayor parte del oro aparece libre y con un tamaño de partícula muy pequeño (cerca del 80 % presenta menos de 30 micras); una parte está vinculada a las limonitas y otra, en menor grado, está encapsulada en arcillas y cuarzo (Canepa, 1996).

La plata, que podría estar vinculada con la jarosita (Argentojarosita, $\text{AgFe}_3+3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), se encuentra junto al oro. La relación entre la plata y el oro varía entre 10 en Alto Chira y 3.5 en Tentadora. Podemos

deducir que los valores más altos se relacionan con las minas más cercanas a donde se encuentran los fluidos hidrotermales; así, Alto Chira, al tocar el intrusivo Llamo Llamo sería el yacimiento más cercano a las fuentes y por lo tanto de temperatura más elevada (?); le seguiría Sacalla, (Ag:Au=8.5) emplazado en el Miembro B y por lo tanto situado estratigráficamente a 350-400 m por debajo de Antarki, Tentadora y Seductora; a continuación tenemos Antarki (Ag:Au=12) con valor relativamente alto, posiblemente relacionado con la existencia de vetas o de un cuerpo intrusivo más próximo de la superficie; por último Seductora (Ag:Au=13) y Tentadora (Ag:Au=9.7) serían razonablemente los yacimientos más distales por su posición estratigráfica más elevada a techo del Miembro D (Sección A-A').

Además, el bismuto, el mercurio, el tungsteno, el antimonio y el arsénico (escorodita, $\text{Fe}+2\text{AsO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) son otros componentes que muestran concentraciones geoquímicas anómalas en la mineralización oxidada.

El oro tiene una elevación alta con el arsénico y el antimonio, y en menor medida con la plata; esta última también está relacionada con el arsénico y el antimonio, lo que confirma su conexión con sulfosales (tetradrita). Excepto en el caso de Antarki, la ponderación entre el oro y el mercurio es débil, Asimismo, tiene una activación positiva con arsénico, plata, antimonio y bismuto.

En la mayoría de los casos, los valores geoquímicos del tungsteno y el bismuto están por debajo de los límites analíticos de detección; como resultado, sus coeficientes de valoración son poco confiables.

La mineralización presenta alteraciones, las cuales consisten sobre todo en sericita-pirita-cuarzo-arcilla. También se encuentra diáspora ($\text{AlO}(\text{OH})$), que generalmente cubre planos de fractura en los conductos silicificados; rutileo (TiO_2) y pirofilita ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), esta última se encuentra en las capas arcillosas, además de montmorillonita ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y nontronita ($\text{Na}_{0.3}\text{Fe}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). La oxidación de los sulfuros, sobre toda la pirita, da lugar a una gran cantidad de limonitas. También puede producirse goetita ($\text{Fe}^{+2}(\text{OH})$), hematita (Fe_2O_3) y jarosita ($\text{KFe}_3+3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Un halo externo de pirita cúbica gruesa (que se puede distinguir con facilidad de la pirita fina que está relacionada con la mineralización) y arcillas rodean la mineralización. Este halo da lugar a afloramientos impresionantes de limonitas, aunque sin oro ($\text{Au} < 100 \text{ ppb}$).

Es indiscutible la conexión entre los intrusivos detectados en el distrito y la mineralización, especialmente con los sills y diques. A pesar de que estos últimos no están mineralizados, se encuentran fuertemente transformados (cuarzo-sericita-arcilla-pirita) y, en todos los casos, presentan un halo a su alrededor con una alta concentración de mineralización aurífera (Churges, Tentadora, Sacalla, Chancadora, Ucumali). Indudablemente, estos diques han funcionado como canales predilectos para la circulación y el ascenso de los fluidos hidrotermales. En ciertos casos, como el stockwork Au-Ag-As de Alto Chira, que se encuentra en el borde del intrusivo Llamo Llamo, están mineralizados.

Hasta ahora, Santa Rosa ha sido visto como un caso representativo de mineralización con alta sulfuración en profundidad intermedia, albergada

en sedimentos. Esto se debe a que esté situado en la alteración diáspora y pirofilita, minerales característicos de ensamblajes argílicos avanzados. No sin embargo, los datos más recientes revelan que la secuencia mineral es compleja, probablemente conformada por fases de baja sulfuración (electrum, arsenopirita, pirita), alta sulfuración (bornita, enargita) y deposición de sulfuración intermedia (calcopirita, bismutinita, arsenopirita, rentita-tetraedrita). Finalmente, la combinación de sericita-pirofilita-diáspora señala que las temperaturas de formación están entre 250 y 350 grados Celsius (White y Hedenquist, 1995).

La mineralización, sin duda, tuvo lugar durante la colocación y consolidación de los cuerpos magmáticos que se mencionan, los cuales tienen una edad de 8.8 ± 0.4 MA. La aparición de estos corredores de fracturación en dirección NE a EW parece ocurrir al mismo tiempo que el acontecimiento magmático; la convergencia de estas estructuras con otras más viejas, que siguen un rumbo andino NNW, da lugar a la formación estructural necesaria para la génesis mineral. La edad de este acontecimiento es muy cercana a la Fase Tectónica Quechua II. Si contrastamos esta edad más reciente con otras mineralizaciones semejantes, como las de Algamarca y Toro, que se datan en aproximadamente 15 MA (Noble y McKee, 1999), podemos deducir que el distrito de Santa Rosa está vinculado a un evento metalogenético distinto de los anteriores, correspondiente al Mioceno Superior. Esta edad es muy parecida a la del intrusivo cuarzomonzónico de Pasto Bueno (W-Cu-Ag-Pb-Zn-As), cuyo periodo es de 9.5 MA (Landis y Rye, 1974), y probablemente también lo esté con el distrito Mundo Nuevo-Tamboras-Compacha (Mo-W-Cu-Pb-Zn-

Sb). La asociación mineral propia de W-As-Sb sugiere una procedencia común vinculada con la formación de sistemas hidrotermales (W-Au-As-Sb-Bi), que generalmente están relacionados con magmatismo alcalino a subalcalino de tipo S y que se desarrollan raramente en arcos magmáticos calcoalcalinos.

Para explicar los hechos mencionados anteriormente, podríamos formular la hipótesis de que el distrito de Santa Rosa tiene mineralizaciones distales (Au-Ag-As-Cu-Sb-W-Bi) vinculadas a intrusivos centrales Mo-W-Cu (Pasto Bueno y Tamboras), situados dentro de un contexto geotectónico trasarco (back-arc) con magmatismo altamente influenciado por la corteza terrestre. Esto se debe a un probable engrosamiento de la corteza en esta región de la Cordillera. En este momento, no está muy clara la posible conexión entre este magmatismo y el de la Cordillera Blanca, aunque es posible que esté relacionado con la intrusión de tonalitas y cuarzodioritas de la primera fase de aquella cordillera (fecha entre 10 a 13 MA).

Para aclarar cuestiones importantes y hasta ahora desconocidas de la metalogía singular del distrito de Santa Rosa, se requieren más trabajos de geoquímica (isótopos, elementos traza, inclusiones fluidas), mineragrafía y dataciones radiométricas. Por ejemplo, para averiguar las propiedades de la mineralización primaria y distinguir sus distintas etapas; Definir la edad de la mineralización; desenredar los vínculos entre evolución estructural y mineralización en el distrito; terminar de caracterizar geoquímicamente los intrusivos que son responsables de la mineralización.

Desde 1994, la minería en Santa Rosa ha estado en marcha. Las actividades se iniciaron en el tajo Tentadora, con una producción anual de 178.000 TM/a. A partir de la puesta en marcha de Sacalla en 1998, Seductora de Sacalla en 1998, Seductora en 2001 y 2001 y más recientemente Antarki y Chancadora, la explotación ha ido creciendo gradualmente. Hoy en día, se logra una producción mensual de 1'500,000 TM de mineral. Simultáneamente con este crecimiento de las operaciones, se ha experimentado una caída significativa de la ley media. Se observa que la Ley de Tentadora disminuye sistemáticamente a partir de 1995, aunque su declive se ve un poco atenuado entre 1998 y 2000 debido a la producción de Sacalla. Desde El 2001, la incorporación en producción de Antarki, Chancadora y Seductora no ha conseguido cambiar la tendencia histórica hacia la disminución, a pesar de sus leyes bajas. Hoy en día, la ley media es de 0,50 g/t Au. A pesar de los aumentos en la producción obtenida, esta realidad hace que Santa Rosa sea una operación sumamente susceptible a cualquier alza en los costos operativos o a una baja del precio del oro. Todo Esto pone de manifiesto la apremiante necesidad de encontrar nuevos recursos más abundantes que garanticen la viabilidad económica de las operaciones a medio y largo plazo.

4.1.11. Minería

Método de Explotación

Las operaciones se llevan a cabo utilizando el procedimiento de minería de tajo abierto. El acarreo se lleva a cabo con volquetes, mientras que el carguío de desmonte y mineral se efectúa con excavadoras hidráulicas y cargadores frontales. Volvo FMX y Scania 460, ambos de 15 m³, que son parte de la empresa Contratas: POMISPA,

EQUIDRILL, CN SAC, GEMINIS, CORFRANSA, VIRCAR SRL y OCP conforman un total de 150 unidades.

La duración del acarreo depende tanto del banco o del nivel de operación en el que se esté trabajando como de a dónde está destinado el material a acarrear. En lo que respecta al control de acarreo y carguío, hay personal en el lugar que se encarga de supervisar el material en cada frente, así como los ciclos de acarreo y carguío, el costo del carguío y la conservación de las condiciones óptimas tanto en las vías como en el frente.

La Central de Monitoreo recibe todos los datos recopilados por el controlador. Su función es analizar y anotar la eficiencia de los equipos, notificar cuando esta sea baja para que se implementen las acciones correctivas en el lugar; además, informar sobre el progreso del cumplimiento del Plan Minado.

Se conserva la información al día respecto a la disponibilidad mecánica (diaria y mensual) de las máquinas de los contratistas, para poder realizar la programación diaria de los equipos conforman a lo que solicitan las distintas áreas de la unidad minera.

Parámetros de Diseño

- **Parámetros geotécnicos de diseño**

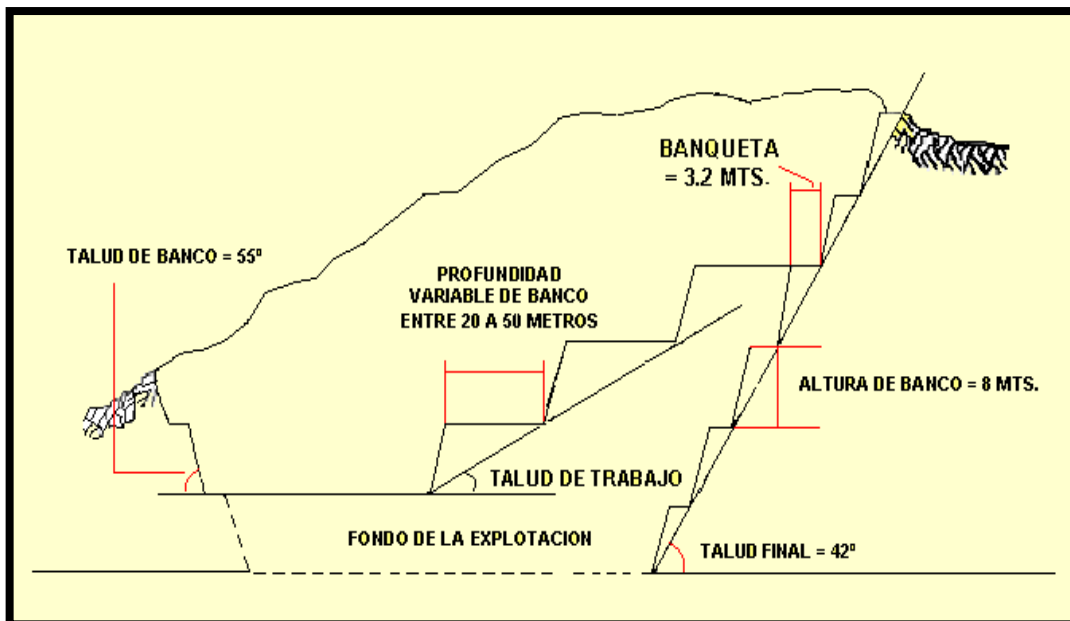
Se establecen los siguientes parámetros de diseño más relevantes en el proceso de explotación a cielo abierto, dependiendo del tamaño de los equipos y la planificación minera en COMARSA (Ver GRAFICO):

- ***Talud de Banco***, Para este parámetro, la línea dibujada desde la cima del banco al piso o "toe" forma un ángulo de 55° con la horizontal. Esto establece que el talud mínimo para bancos de 8 metros de altura es 0,7:1.
- ***Talud de Operación***, Se está trabajando en la actualidad con un

ángulo de operación de 42 grados y una relación de talud del tajo de 1.1: 1.

- **Taludes Relativos de Bancos Operativos con Anchos Variables**, son de distintos tipos de relación, dado que los anchos de los bancos cambian conforme al diseño a implementar en algunas partes del tajo; dependiendo de ellos, la estructura o el rasgo a lo largo y ancho de los tajos.

Parametros Geotecnicos Comarsa



Fuente: área planeamiento / comarsa

Parámetros operativos de diseño

- **Banquetas, o Bermas de Operación**, Quedan definidos por diseño mediante el ángulo de operación. Normalmente, en COMARSA, la distancia entre el pie de un banco superior y la cresta de un banco inferior es de 3.2 metros.
- **Muro de Seguridad**, En términos generales, la altura de los muros de seguridad debe ser tres cuartas partes del tamaño de la llanta; en

COMARSA se ha establecido que su altura estándar es de 1,20 metros.

- **Rampas**, Por diseño, se establecen rampas de hasta 12 metros de ancho calculando en el ancho máximo de los equipos que transportan material, que es de 2,5 metros. Esto permite la circulación simultánea de tres equipos de acarreo. En lo que, respecto a sus pendientes y gradientes, pueden fluctuar entre el 10% y el 15%, debido a la utilización de volquetes con capacidad para 15 m³, los cuales son más livianos que los usados en otras minas.
- En lo que respeta a los radios de curvatura de las rampas y las vías en el cambio de dirección de las rutas en COMARSA, estos poseen un radio medio que equivale al doble del ancho más la cuarta parte del mismo, para alcanzar una velocidad mínima de 7 km/h.
- Cualquier radio de curvatura que desciende de una rampa o vía debe contar con un peralte que ajuste la fuerza centrífuga y gravitacional generada por la velocidad del equipo de acarreo. Este debe tener 0,30 metros de altura; en cambio, las longitudes dependen del destino al que se desea llegar.

Perforación

La primera operación unitaria en la extracción minera, que tiene como propósito fundamental hacer taladros (huecos, hoyos, etc.) de diámetros específicos y distintas profundidades conforme a los diseños

La perforación en COMARSA se trabaja con dos contratistas ANDEAN MANAGEMENT y SAN SIMON las cuales realizan la perforación, la repartición de los taladros para las contratistas es de 60% para ANDEAN MANAGEMENT y 40% para SAN SIMON. Se tiene en total 05 Perforadoras DM45E Ingersoll Rand (Ahora perteneciente a Atlas Copco), Las características de esta perforadora es la siguiente:

- Capacidad de Pull Down: 45000 lb.
- Rotación del cabezal: 200 rpm.
- Capacidad de Compresor: 1050 cfm
- Rango de Perforación: ϕ de 5 1/8 “a 7 7/8”

En COMARSA trabajamos con los siguientes parámetros:

- SISTEMA DE PERFORACION: MARTILLO DE FONDO (DTH)
- TIPO DE PEFORACION: MULTIPASS
- DIAMETRO DE PERFORACION: 6 1/8”
- DIAMETRO DE BARRENO: 4.5 PULG.
- LONGITUD DE BARRAS: 9 m

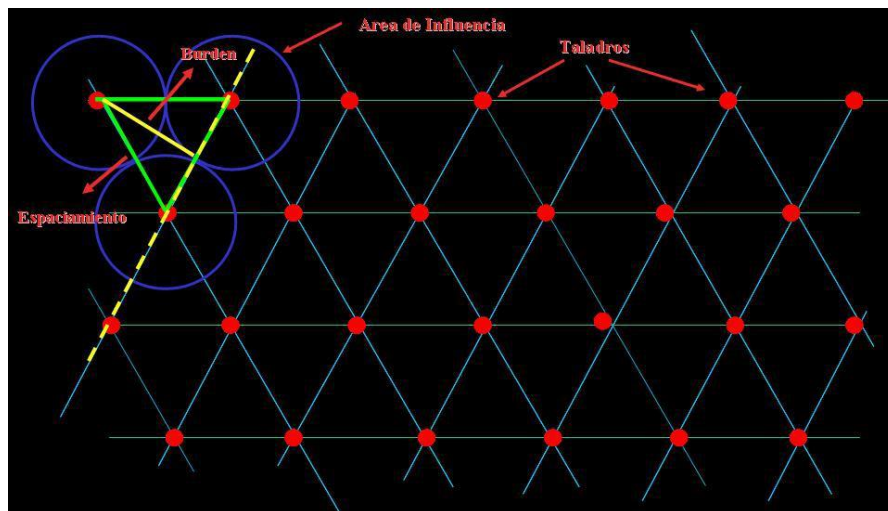


Perforadora DM45E

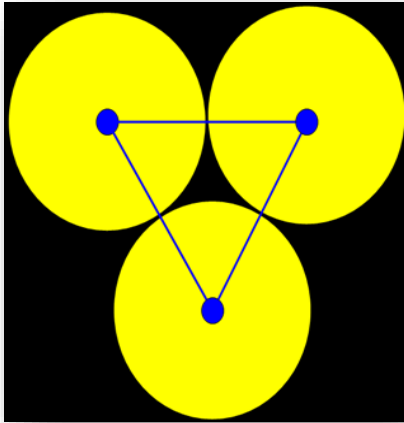


- **Diseño malla de perforación**

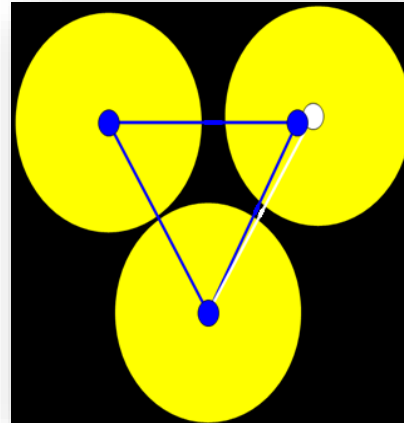
EL DISEÑO ES UNA MALLA TRIANGULAR EQUILÁTERA.



TOPOGRAFIA: Si es necesario, establece los límites de relleno, cresta y rotura; Después, empieza a levantar la malla de perforación desde un punto de vista topográfico (chutas).



CORRECTO



INCORRECTO

▪ **Cálculo de los Parámetros de Perforación**

DIÁMETRO DEL TALADRO (D)

$D = H / 10$

H = altura del Banco en pies.

D = diámetro en pulgadas.

$D = H / 4$

H = altura del Banco en metros.

D = diámetro en pulgadas.

ESPACIAMIENTO (E)

$E = (1-1.8) B$

1-1.8 = factor según condición de la roca.

B = burden en pies.

E = espaciamento en pies.

$E = (0.3-0.5) B$

← Voladura Controlada

$E = \sqrt{(B \times L)}$

← E, B y L en pies.

ALTURA DE BANCO (H)

$H = (1-4) B$

Usual H = 3B

Cuando la relación es mayor, es más fácil la rotura.

LONGITUD O PROFUNDIDAD DEL TALADRO (L)

$L = H + S_p$

H = altura del Banco.

S_p = Sobreperforación.

$L = 2D$

L = mínima long. del taladro en metros.

D = diámetro del taladro en pulgadas.

SOBREPERFORACIÓN (S_p)

$$S_p = (0.2-0.5) B$$

B, S_p en pies.

Lo usual es 0.3B.

Valores prácticos:

Roca Blanda a Media : S_p = 10-12 diámetros.

Roca Dura : S_p = 12 diámetros.

TACO (T)

$$T = (0.7-1.3) B$$

T = taco en pies.

B = burden en pies.

En Sobreperforación, cuando no conoces el burden:

$$S_p \leq (20\%) H$$

H = altura del Banco.

BURDEN (B)

$$B = (25-35) D_e / 12$$

25-35 = factor según dureza de la roca.

B = burden en pies.

D_e = diámetro del explosivo en pulgadas.

Languafors:

$$B = 0.046 \times D$$

0.046 = factor estandarizada.

B = burden en metros.

$$B = (db / 33) \sqrt{((P \times S) / (C \times f \times (E/B)))}$$

B = burden en metros.

P = grado de compresión (1-1.6 Kg/dm³).

S = potencia relativa del explosivo (1.3 Gelatina).

C = constante para la roca (0.45).

f = 1, es el grado de fractura.

E/B = espaciamento sobre burden.

E = espaciamento entre taladros.

db = diámetro del taladro.

Voladura

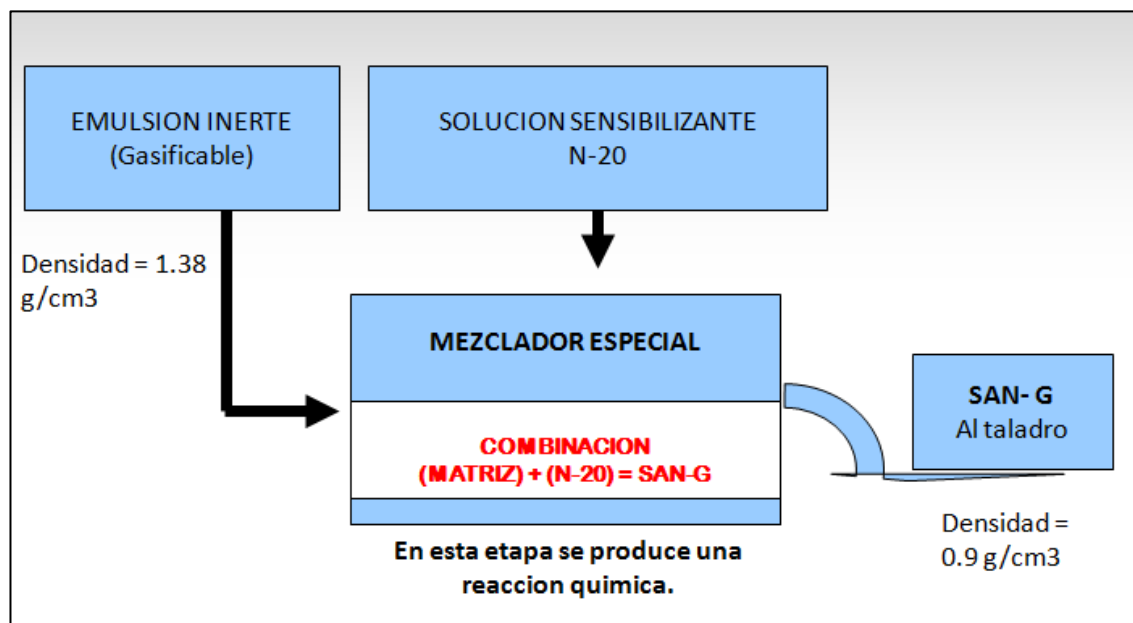
La segunda operación unitaria que se lleva a cabo tiene como finalidad la fragmentación de rocas hasta alcanzar un tamaño adecuado para una buena operación del equipo de carguío y los pads.

En COMARSA se ha empleado el explosivo SAN-G (solución acuosa nitrogenada), que sustituye las mezclas conocidas como "ANFO pesado" o "Heavy

ANFO". Estas últimas están formadas, en diversas proporciones, por emulsión convencional y ANFO (petróleo Diesel y nitrato de amonio). Por Ende, una operación de voladura con emulsión gasificada no requiere en absoluto el uso de petróleo y nitrato de amonio.

La emulsión gasificable, justo antes de ser cargada en los taladros a través del camión fábrica, reacciona con una solución básica que la sensibiliza químicamente. Por lo tanto, la gasificación comienza y termina dentro de los taladros, disminuyendo la densidad desde 1,35 a 1,38 hasta 0,90 a 0,93 g/cm³. En comparación con el ANFO pesado, la utilización de explosivos se reduce hasta un 18%. La altura final que se desea en la columna explosiva se logra, gracias al esponjamiento logrado, alrededor de media hora después del carguío, según el diseño del taco y la carga final. Asimismo, su capacidad de romper permite que se expanda la malla de perforación.

Esquema simplificado del proceso de gasificación



Para asegurar un rendimiento óptimo del SAN-G, es esencial supervisar la temperatura y densidad final durante el carguío, ajustando con anterioridad el porcentaje de N-20.

Además, se debe regular la cantidad de kilos a despachar por taladro, dependiendo del taco de diseño y del factor de esponjamiento del agente.



Control de la densidad San-G

Antes Para poner el taco, es necesario esperar al menos 30 minutos para que el explosivo alcance la expansión del 20% necesaria.

- **Accesorios y Explosivos de Voladura Utilizados**

- Booster de 1 lb (0.45 kg.)
- Fanel dual 800/25 ms (14 m)
- Fanel dual 800/17 ms (14 m)
- Conector ctd o ms (1 m)
- Conector ctdnel 42 ms (6 m)
- Conector ctd 65 ms (6 m)
- conector ctd 109 ms (6 m)
- Cordón detonante 5g

➤ Fulminante N° 08



- **Iniciadores no Eléctricos**

FANEL ESTANDAR. Compuesto por un fulminante con retardo de fondo, manguera antiestática y etiqueta de identificación

FANEL DUAL. Compuesto por un fulminante con retardo de fondo, manguera antiestática, un fulminante de retardo superficial y etiqueta de identificación

- **Carguío**

Una vez que se tienen los accesorios y la emulsión, se comienza con el carguío. En esta etapa, el operador del camión fábrica y su asistente trabajan juntos: el ayudante conecta el booster y el fanel dual. Esto significa que se toma la parte del fanel dual que tiene el fulminante libre y se enlaza con el booster; en otras palabras, se "prima". De este modo, al cargar el taladro, ambos componentes son introducidos mientras se asegura de que esté tensado

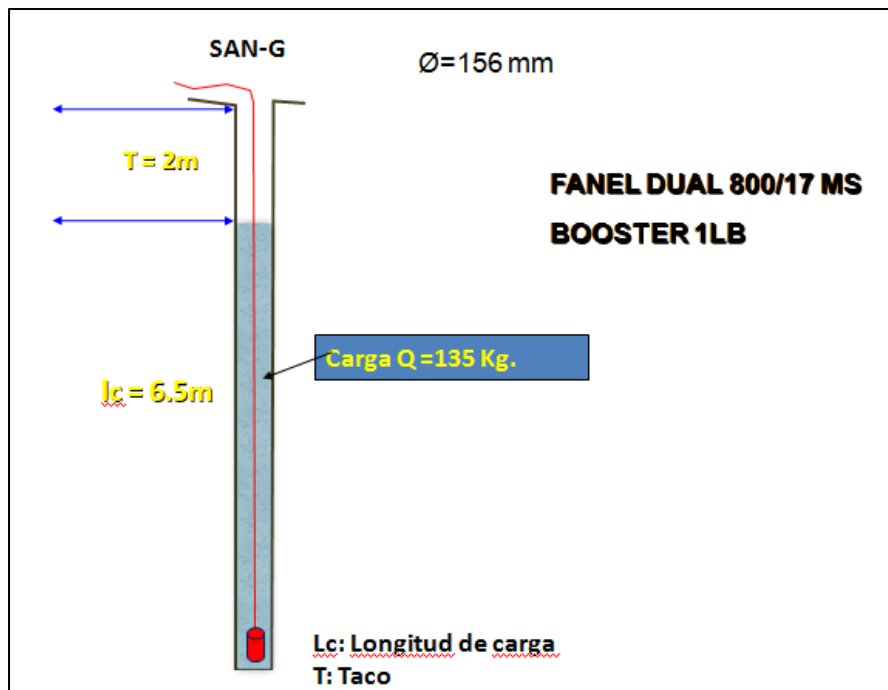
Se prima uniendo el fanel con el booster para luego ser introducido al taladro y ser cargado con la emulsión.



Camion fabrica cargando San – G



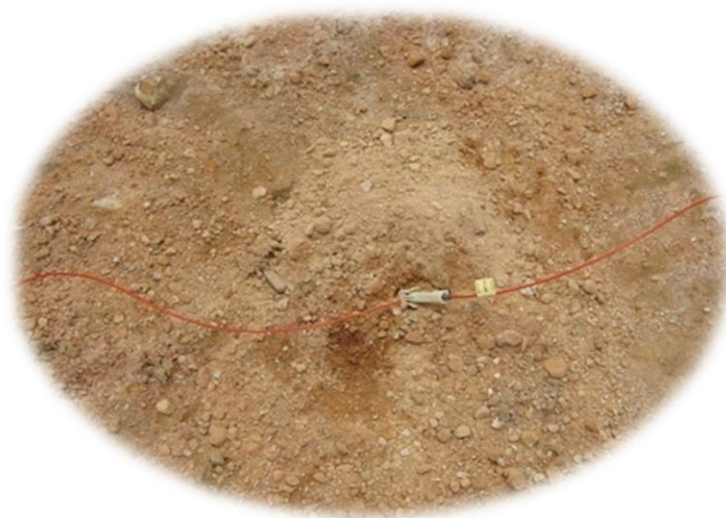
- **Diseño de carga**



- **Tapado y Amarre**

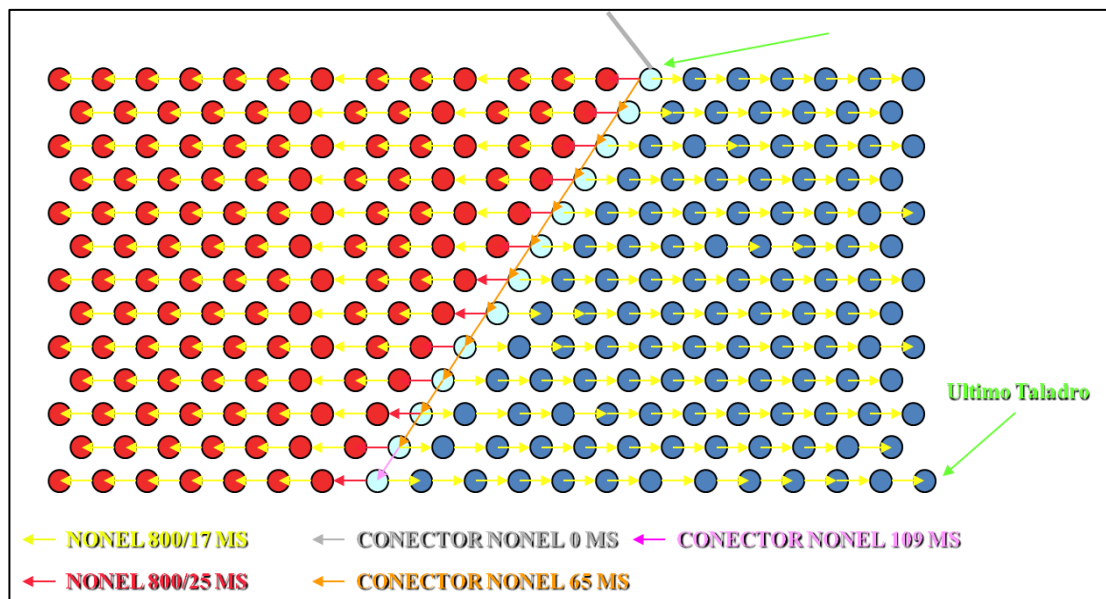
Se rellena todo el taco a lo largo con los sedimentos o lodos de perforación y se continúa conectando fanel con fanel utilizando el conector que tenemos en un extremo.

Se consideran varios factores al seleccionar un tipo de amarre, como la protección del talud y la vía.

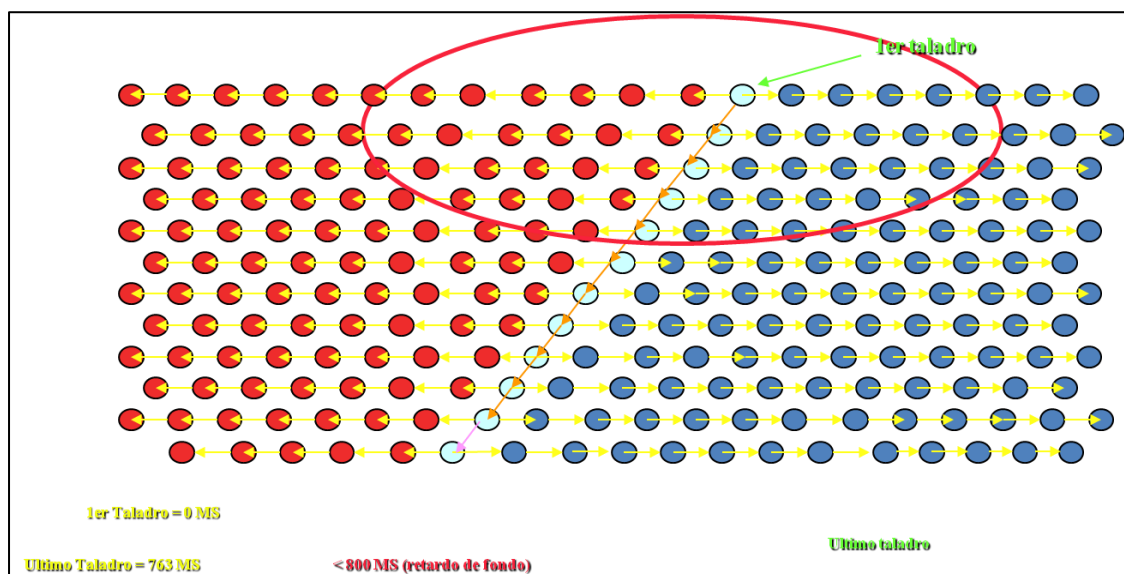


Los amarres pueden ser en forma de filas o en V, y para establecer la secuencia óptima se intercalan retardos entre cada fila. Asimismo, en función del proyecto se emplea un CTD "cero" que da comienzo a la secuencia de salida. Para iniciar varios proyectos también es posible utilizar el cordón detonante, mientras que para el chispeo se recurre a la mecha de seguridad.

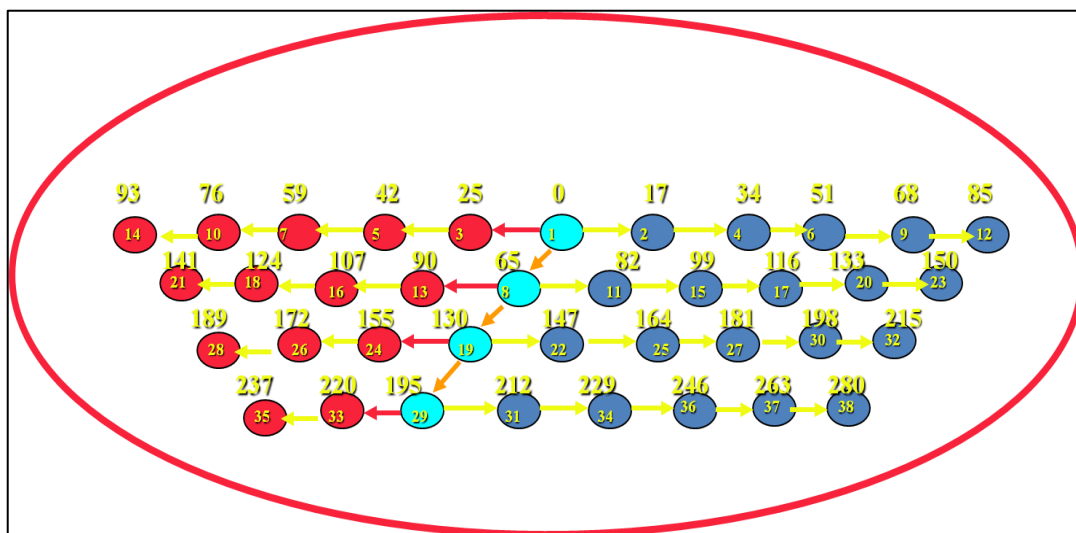
Ejemplo amarre en "V"



Control de quemado



Detonación taladro por taladro



La iniciación de los retardos se hace en forma completa antes que detone el 1er taladro eliminando los tiros cortados por posibles fly rock.

- **Proceso Voladura**

- **Reunión de Voladura (10.30 am.)**

- En esta reunión se informará lo siguiente:

- La información de aviso de disparo, un día antes en los paneles de las garitas y oficinas, las E.E. deberán actualizar de acuerdo al programa de operaciones
 - Área de influencia, se indica para equipos 300 mts y para personas 500 mts.

- **Evacuación de equipos y personas**

- Mina y Seguridad Minera proceden a evacuar todo el personal y equipos de la zona de influencia del disparo.

- Por motivos de seguridad se bloquean todas las entradas al tajo donde se va a llevar la voladura, los trabajadores del área llamado en este caso “Vigías” son quienes bloquean las entradas al tajo y cuentan con una radio para mantenerse informados con el jefe de Voladura, y conos para bloquear la vía.

La sirena deberá activarse 11:50 a.m., indicando que habrá disparo durante las 12:00 PM. y 1:00 PM.

Confirmación de accesos cerrados

El B1, se comunicará con cada vigía, verificando que los accesos estén controlados.

Se procede con el proceso de voladura.

- Mina entrega el área libre.
- Se procede a solicitar el silencio radial (no interrumpir).
- Se da inicio del proceso de voladura.
- Conteo regresivo 4'20" para la detonación.
- Se ingresa para verificar que el disparo haya detonado correctamente.
- Se da a conocer al O1, el término del proceso de voladura sin novedad.
- O1, da la orden para abrir accesos y que se restituya las comunicaciones en el canal 3.

Voladura Comarsa



4.1.12. Emulsión Gasificada Fortis™ Advantage

La emulsión **Fortis™ Advantage** (ANE) Es un agente de voladura compuesto por una emulsión, que se traslada a las minas como un producto inerte. Antes de ser cargado a los taladros, se sensibiliza en las operaciones con una solución gasificante, generando así una mezcla explosiva menos densa y con mayor velocidad de detonación que los anfo pesados. Este es altamente resistente al agua, muy viscoso y energético.

Antes de ser bombeado al taladro, se prepara la mezcla con el sensibilizante (nitrito de sodio) y la matriz oxidante gasificable, lo que genera una reacción química.

El gas se genera nitrógeno a partir de la reacción química entre la emulsión matriz inerte y la solución sensibilizante. Este gas queda aprisionado en las burbujas de la matriz, que son las encargadas de sensibilizarla.



El explosivo comienza a expandirse desde el instante en que se carga el taladro. Esto ocurre debido a la reacción química entre la emulsión matriz y la solución sensibilizante, lo que genera burbujas de nitrógeno. Estas burbujas actúan como "puntos calientes" en el momento de la detonación, lo que provoca su detonación y permite que la onda de detonación se propaga por toda la columna explosiva.

a. Aplicación

Fortis™ Advantage ANE es producido por ORICA MINING SERVICES con un nivel elevado de calidad y se transporta a las minas utilizando camiones estanque o iso tanques que están bien asegurados al vehículo.

Fortis™ Advantage solamente se puede utilizar para elaborar series de productos explosivos autorizados Fortis™ y Fortan™ Advantage. Las licencias concedidas por las autoridades reguladoras son necesarias antes de realizar cualquier mezcla en un lugar específico.

b. Propiedades Técnicas

Las propiedades que tienen que ver con las características explosivas no son relevantes para Fortis™ Advantage, ya que este no es un producto explosivo.

Densidad de Fortis™ Advantage 1.32 – 1.38g/cm³.

c. Recomendaciones de Su Uso

Fortis™ Advantage ANE es aconsejado para la fabricación de toda la gama de productos de emulsión/ANFO (Series Fortis™ Advantage y Fortan™ Advantage).

Fortis™ y Fortan™ Advantage tienen la posibilidad de ser combinados con ANFO y diésel en una proporción adecuada para garantizar su rendimiento ideal.

d. Temperatura del Terreno

Este El producto puede utilizarse en terrenos cuya temperatura oscile entre 0 °C y un máximo de 55 °C.

e. Almacenamiento y Manipulación

- Clasificación del Producto

Nombre autorizado: Series Fortis™ Advantage

Nombre para transporte: Emulsión de nitrato de amonio N° NU: 3375

Clasificación: 5.1

- Almacenamiento

Fortis™ Advantage ANE puede guardarse en el lugar por un período de hasta 3 meses antes de su uso. No, sin embargo, la presencia de cristales en la emulsión es el primer indicio de que el producto se está acercando al término de su vida útil. Si se puede, las existencias de productos más viejos deben ser utilizados primero.

- Destrucción

Destruir materiales explosivos puede ser un riesgo.

Los métodos para una eliminación segura de eliminación explosivos de explosivos pueden variar según las circunstancias del usuario.

f. Seguridad

Fortis™ Advantage ANE incluye componentes que no son explosivos. En el estado de entrega no es un explosivo, sino que se convierte en uno cuando se mezcla o sensibiliza adecuadamente.

Los explosivos fabricados con nitrato de amonio, como Fortan™ Advantage ANE, pueden reaccionar con materiales piríticos en el suelo y generar situaciones que podrían ser peligrosas. Orica no se hace responsable de ninguna pérdida que se produzca al emplear el producto en terrenos que contengan materiales reactivos o piríticos.

4.1.13. Aspectos para Determinar la Velocidad y el Grado de Detonación

Objetivos

- Determinar variables geodinámicas in situ que nos permitan poder caracterizar el macizo rocoso y analizar la influencia de los mismos en la granulometría resultante.
- Determinar el rendimiento de la velocidad de detonación y analizar la tendencia de la misma obteniendo estadísticamente las probabilidades del rango de detonación requerida en las operaciones de la mina para una granulometría específica.
- Analizar la granulometría resultante en diferentes etapas del proceso de limpieza y determinar la influencia de las variables geodinámicas in-situ en el resultado de la fragmentación.
- Relacionar la velocidad de detonación y los diferentes tipos de litologías en el resultado de fragmentación mediante the blast index and energy factor para determinar la influencia de nuestra SAN-G en obtener un porcentaje de finos requerido.

Metodología del Trabajo

Se tomaron registros in situ de la velocidad de detonación, análisis de ondas y fotogrametría, para analizar y determinar la relación roca & explosivo, se utilizó para los trabajos un captador de tiempos en fibra óptica que determina la velocidad de régimen constante microtrap®, un sismógrafo instantel® minimate plus y su software blastware® para análisis de ondas, y el software granulométrico wipfrag® para determinar el comportamiento y índices de fragmentación.

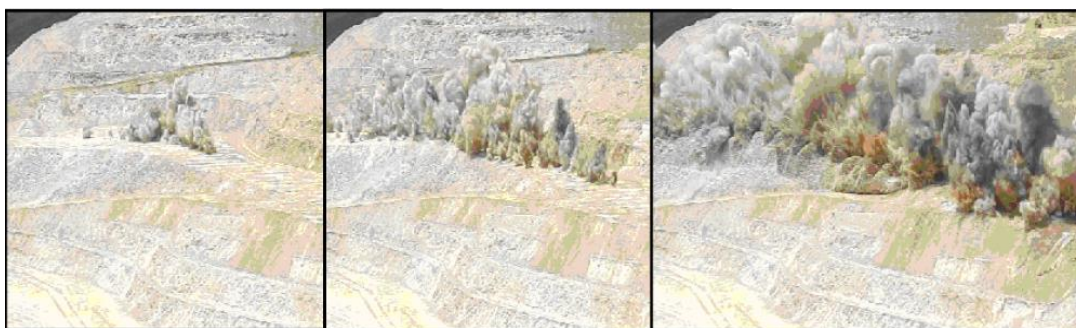
Aspectos a Considerar

- **Análisis de la Eyección del Taco**

Otro de los aspectos observados en las voladuras es el alto nivel de eyecciones del material volado en el desarrollo de las voladuras. Esto se ha podido observar a través de filmaciones con cámara de alta velocidad.

En las siguientes figuras se pueden ver el efecto de las eyecciones de una voladura de producción.

Imagen de voladura de producción



El efecto de las eyecciones se puede deber a diversos factores tales como, tipo y calidad del material del taco, secuencia de iniciación, tiempos empleados en la secuencia de iniciación y diámetro de perforación.

Las eyecciones traen consigo una serie de factores adversos para la voladura, como son:

1. Proyecciones de roca a grandes distancias que pueden generar daño a personas y/o equipos.
2. Como el taco no cumple su acción de confinamiento, se produce un desaprovechamiento de la eficiencia del explosivo, generándose una baja presión de detonación del explosivo.
3. Problemas de fragmentación en zona de taco, material grueso.

- **Otros Análisis – Pre Voladura**

La secuencia de detonación que se emplea en la mayoría de las voladuras de producción usa los siguientes tiempos; tiempo entre taladros de 17ms, tiempo entre filas de 42ms y tiempo en el fondo de 800ms.

Al realizar simulación de la secuencia actual de Comarsa, con el software Shotplus™ i, se puede observar que existen muchas zonas con bajo burden de alivio, debido principalmente al uso de 42ms entre filas y esto puede ser una de las causas de las eyecciones de material volado.

Por otro lado, la secuencia de detonación usa como tiempo de fondo en el taladro 800ms. La dispersión de este producto es de un 3% (± 24 [ms]), este tiempo sobrepasa al tiempo de superficie de 17ms, por lo que se puede generar taladros detonando fuera de secuencia, esta situación también puede dar origen a flyrock.

El tipo secuencia actualmente empleado puede llevar a un aumento de las Vibraciones producto principalmente porque a los menos 4 taladros están detonando en forma simultánea y confinados.

- **Relación entre el diámetro y el taco**

El diámetro de perforación actualmente usado de 6 1/8", es un diámetro grande para la altura del banco actualmente empleado, y esta condición puede ser una de las causas de la alta eyección de material volado y que normalmente puede generar problemas en la voladura a nivel de taco (bolonería).

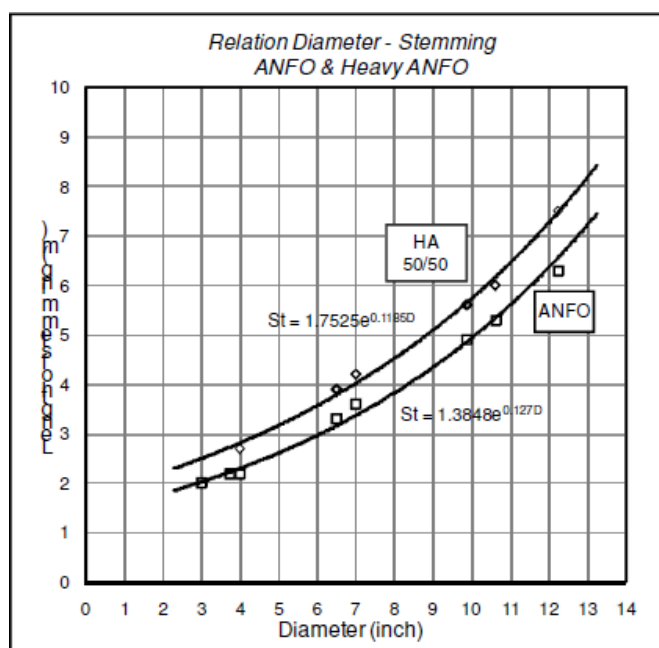
En la tabla N°5, se muestran algunas relaciones de referencia entre taco y diámetro empleados en mineras muy similares Comarsa.

Tabla 2 Antecedentes de las voladuras

Díámetro (in)	Taco (m)
4.5	2 – 2.6
5	2.5 – 2.8
6 1/8	3 – 3.5
7 7/8	4 – 4.5
9 7/8	5 – 5.6

En figura N°6, se puede observar la relación entre el diámetro de perforación y el taco a emplearse, y la comparación entre el ANFO y un ANFO pesado que tiene u 50% de emulsión matriz. La comparación indica que al emplear ANFOs pesados la longitud del taco es mayor al emplear ANFO e indica el largo del taco en relación al diámetro a usar.

Figura 5 Relación entre ANFO y ANFO pesado



- **Operaciones – Control de Carguío**

Una de las operaciones más importantes del carguío de los explosivos en el taladro es el control del taco, OMS en Comarsa está realizando todos los controles para dejar un taco eficiente. En todas las voladuras se miden

las longitudes de los taladros, antes de la etapa de carguío, para determinar la carga explosiva adecuada, durante toda la etapa de carguío del explosivo el control de los tacos se realiza, terminada la carga explosiva y después de 25 minutos.

Software Usado

SOFTWARES OMS S.A. en las faenas donde ejecuta asiste técnica, basa su trabajo en la experiencia y capacitación que han adquirido cada uno de los miembros del grupo técnico. Los softwares y herramientas de trabajo pertenecientes al grupo ORICA son los siguientes:

- **SHOTPLUS – I ProTM**

Programa computacional para el diseño de voladuras y análisis de secuencias de iniciación en minería de cielo abierto. Ofrece un Método sencillo para el análisis y la visualización de diversas opciones de diseño para las secuencias de iniciación. El software es una herramienta fácil de usar, que cuenta con un menú visible que posibilita al usuario navegar sin problemas a través de las representaciones gráficas de los componentes del sistema. En resumen, el programa permite:

- Visualización de secuencias de detonación para explosiones con detonadores pirotécnicos y electrónicos.
- El estudio de "desarrollo temporal" en la explosión del diseño, que proporciona un gráfico con la cantidad de cargas que estallaron durante una ventana temporal. Utilizando el criterio de peso de explosivos detonados en un intervalo de tiempo, realizan el mismo análisis.
- Un análisis de las curvas iso-tiempo y del movimiento de cada taladro producido por el diseño de la secuencia seleccionada, lo que proporciona una indicación sobre la dirección inicial en que se mueve el material.

- Incluye además un estudio de "alivio", que es crucial cuando se trata de determinar el tiempo necesario para que cada tipo de roca desplace su parte de la carga, teniendo en cuenta la configuración del diseño y la carga de explosivos.
- Este tipo de análisis posibilita la realización de voladuras con una fragmentación, desplazamiento y control de dilución adecuado, además de disminuir el daño en las paredes.
- Diseñar voladuras para el control de la dilución. En una malla donde normalmente hay dos o más sectores de zonas de mineral y estéril, estas áreas pueden ser demarcadas y, en forma muy rápida, diseñar secuencias de iniciación que aseguran una segregación de materiales.



- **POWERSIEVETM**

Es una aplicación diseñada para determinar la distribución granulométrica del material volado a partir de un muestreo de imágenes digitales fotográficas.

Un conjunto de imágenes que posibilita la representación del área a medir se puede procesar muy rápidamente.

Esta la aplicación presenta un análisis interactivo que exhibe los resultados en forma de tablas y gráficos. Para Proporcionar el índice de uniformidad y el tamaño

característico de las partículas en la distribución, es posible ajustar la curva de Rosin-Rammler a los datos. El gráfico puede ser copiado y utilizado por cualquier aplicación Windows para reporte de los resultados.

A través de la evaluación de la fragmentación se puede estandarizar los parámetros de la perforación y voladura y por otro lado, llevar a cabo estudios tendiente a optimizar el costo global mina y planta.



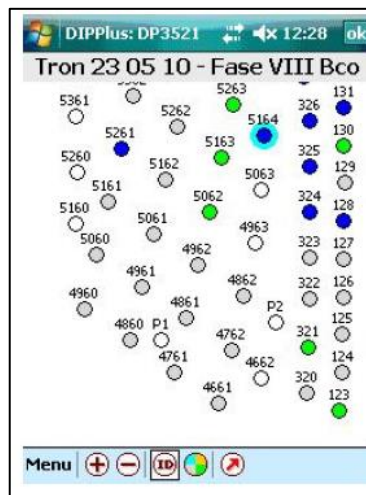
- **DIPPlus TM**

Software que trabaja en conjunto con computadores de bolsillo tipo PDAs. Esta nueva tecnología está orientada a llevar la voladura en un sistema on-line, donde los usuarios podrán en el futuro, tener acceso a tiempo real de las condiciones de la voladura, trasformando está en un sistema inteligente.



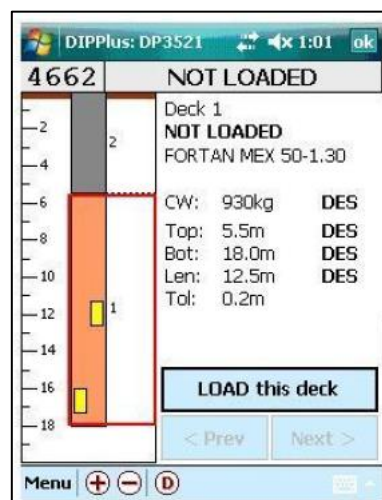
Medición de taladros

El Software DIPPlus™ posee un módulo de medición de profundidades y condiciones del estado de los taladros, las cuales nos pueden permitir analizar la desviación estadística en las longitudes de los taladros, y observar e identificar y controlar las condiciones de profundidad de agua de los taladros, además de incluir comentarios con información importante para procesos posteriores.



Control de Carguío

Se puede generar una información de control del carguío diseñado versus el carguío real realizado en cada taladro, del cual se puede desprender un reporte de consumo de explosivos en la voladura.



Equipos de Medición

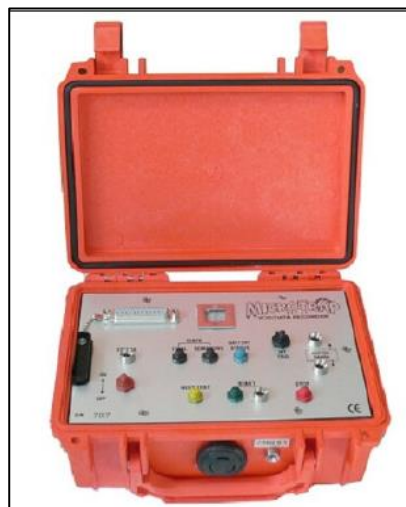
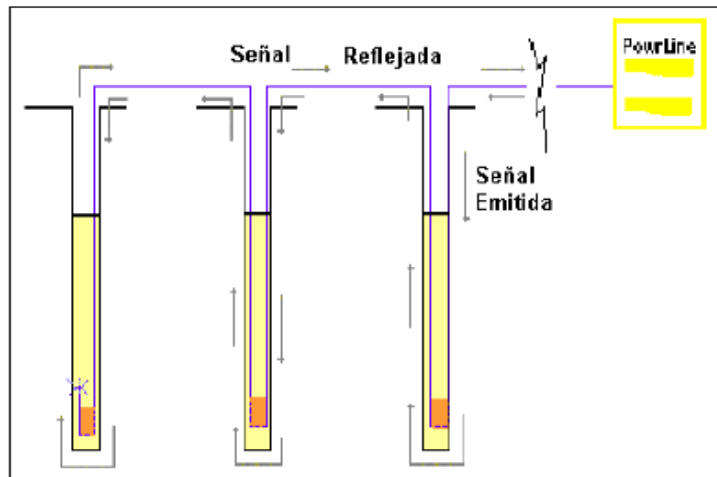
- **Medidor de Velocidad de Detonación continúa In-situ**

La velocidad de propagación de la onda de detonación a través de un explosivo, conocida como VOD (velocidad de onda detonante), establece el ritmo al que se libera la energía. El control al interior de los barrenos posibilita:

- Correlacionar los resultados de las VOD con el rendimiento del producto y, a continuación, tomar las acciones requeridas para alterar los diseños o identificar la razón de los resultados de la voladura, ya sean positivos o negativos.
- Comparar los resultados con las especificaciones del producto y las predicciones teóricas de los códigos de detonación.
- Investigar la efectividad del taco o de las cámaras intermedias de aire.
- Investigar el efecto del agua y la contaminación (relleno, desprendimiento o taco del barreno), sobre el explosivo.
- Estudiar métodos de iniciación, vía la determinación de la posición óptima del iniciador.
- Estudiar la efectividad de cargas intermedias.
- Detectar anomalías, como la interacción de cargas adyacentes

La VOD es una de las propiedades más relevantes que se deben tener en cuenta en un explosivo. Junto con otras características (presión de detonación, volumen de gases y calor desarrollado), permite predecir el resultado de la voladura en términos de fragmentación, desplazamiento, esponjamiento y nivel de vibraciones para mejorar el proceso.

OMS dispone de dos tipos de equipos que permiten determinar la VOD del explosivo: PowerLine, que corresponde a tecnología Orica y MicroTrap de tecnología MREL. Ambos son capaces de medir la velocidad de detonación (VOD), in situ, en forma continua y en uno o varios taladros de una voladura.



- **Cámara de Alta Velocidad (CAV)**

Las aplicaciones con este tipo de instrumentos en voladura, son:

- Determinar las características del movimiento de la roca, como por ejemplo el alivio expresado en ms/m de burden.
- Estudiar las secuencias de iniciación de las voladuras.
- Evaluar el grado de confinamiento, eyección del taco y la zona de proyección del material

- Confirmar la funcionalidad de los explosivos y retardos de superficie.
- Cuantificar el movimiento de la voladura en términos de desplazamiento, velocidad y aceleración.
- Determinar la localización, tiempo y duración del escape de los gases.
- Determinar el tiempo de respuesta para optimizar la selección de los retardos entre hoyos en una fila, entre filas, y también entre decks, para obtener una adecuada secuencia.

Orica posee actualmente la última tecnología en cámaras de video digital de alta velocidad: (En colores y b/n con una velocidad de grabación hasta 1.000 cuadros por segundo) y con tamaños de imágenes de 640x480 píxeles



- **Equipos Medidores de Vibraciones:**

Monitoreos de vibraciones en el campo cercano y lejano, expresado por velocidad de partícula, frecuencias dominantes, frecuencia, desplazamientos y aceleraciones. A través de estos registros es posible determinar; cargas por retardo, velocidad de partícula máxima, velocidad de propagación,

detonaciones simultáneas, detonaciones ineficientes, filtros de precorte y ecuaciones de propagación.

Monitor de vibraciones Mini Seis

Equipo de monitoreo, capaz de captar niveles de vibración que llegan a los 254 mm/s. Este equipo permite una excelente medición en el campo lejano, utilizando para tal efecto geófonos uniaxiales y triaxiales



Monitor de vibraciones Data Trap II

Realiza mediciones de vibraciones inducidas por voladura tanto en campo lejano como campo cercano. Posee 8 canales de medición cada cual con una velocidad de muestreo mínima de 1 Hz y máxima de 10 MHz además de una resolución de 14 bit.

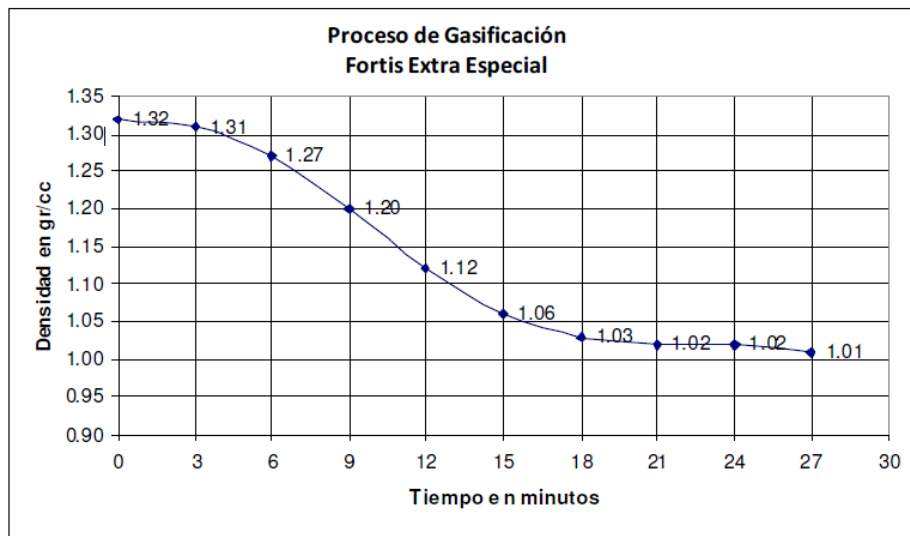
Además tiene la opción de medir sobrepresiones de aire [Pa], velocidad de detonación del explosivo [m/s] y deformación [μ strain].



4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

La presente investigación tiene como propósito mostrar los resultados de las voladuras realizadas con emulsión gasificada, Fortis™ Advantage, las cuales fueron realizadas entre los días 15 al 28 de febrero, los resultados de las voladuras son evaluadas en términos de velocidad de detonación, fragmentación y filmaciones con cámara de alta velocidad. La primera etapa de estas pruebas consistió en calibrar el camión fabrica, con la inyección de nitrito de sodio, para lograr la densidad de final 1.0 [g/cc], densidad indicada por el cliente y con la cual trabajan normalmente, para un diámetro de perforación de 6 1/8" y con una altura de banco de 6 m. Los resultados de esta calibración se encuentran tabulados en la Gráfico n°1, y en donde se puede observar que la densidad final de 1.0 [g/cc], se logra a los 27 minutos.

Figura 6 *Proceso de Gasificación Emulsión Fortis Advantage*



Las voladuras desarrolladas en el periodo del 15 al 28 de febrero, se pueden observar en la tabla N°2 y que corresponden principalmente a voladuras de producción.

Tabla 3 *Antecedentes de las voladuras*

Fecha	Tipo de Voladura	Altura de Banco (m)	Diámetro de taladro pulg.	Burden (metros)	Espaciamiento (metros)	Sobreperforación (metros)	Condición de Taladro	Densidad de la roca	Carga Prom / taladro (kg)	Factor de Potencia (kg/ton)
18/02/2011	Producción	6	6 1/8	4.2	4.8	0.5	Seco	2.5	97.1	0.321
20/02/2011	Producción	6	6 1/8	4.2	4.8	0.5	Seco	2.5	97.4	0.322
21/02/2011	Producción	6	6 1/8	4.2	4.8	0.5	Seco	2.5	103.5	0.342
22/02/2011	Producción	6	6 1/8	4.2	4.8	0.5	Seco	2.5	98.6	0.326
23/02/2011	Producción	6	6 1/8	4.2	4.8	0.5	Seco	2.5	97.57	0.323
24/02/2011	Producción	6	6 1/8	4.2	4.8	0.5	Seco	2.5	98.15	0.325
25/02/2011	Producción	6	6 1/8	4.2	4.8	0.5	Seco	2.5	99.11	0.328
26/02/2011	Producción	6	6 1/8	4.2	4.8	0.5	Seco	2.5	71.05	0.235
27/02/2011	Producción	6	6 1/8	4.2	4.8	0.5	Seco	2.5	83.03	0.275
28/02/2011	Producción	6	6 1/8	4.2	4.8	0.5	Seco	2.5	95.21	0.315

En las voladuras realizadas, se alcanzó un factor de carga promedio de 0.392kg/t y con una carga por taladro de 96.6 kilogramos. La voladura del día 26 de febrero no se considera para estos promedios.

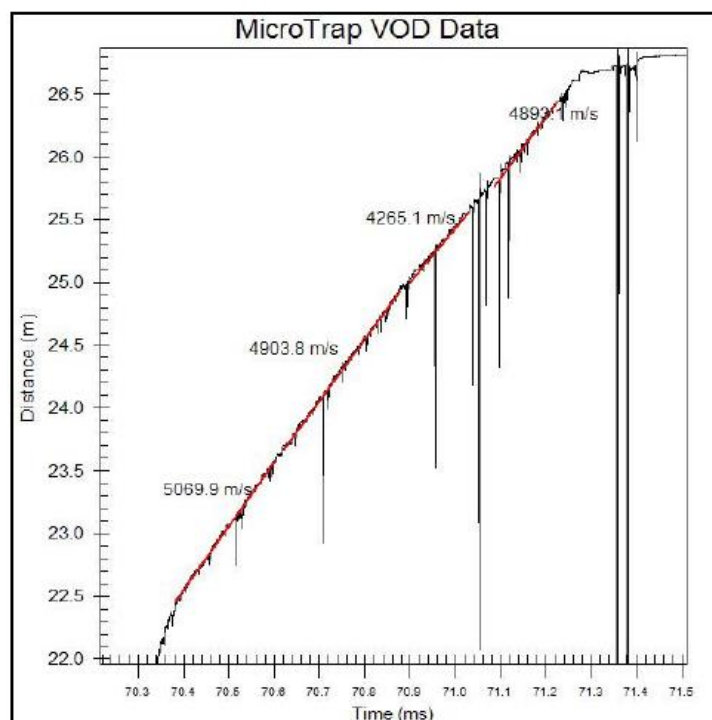
Resultados de la Velocidad de Detonación

El rango de la velocidad de detonación para este tipo de producto, en un diámetro de perforación de 6 1/8", se encuentra entre los 4,600 a 5,200 [m/s].

Los valores registrados de la velocidad de detonación, de la emulsión gasificada, Fortis Advantage, con una densidad de copa promedio del explosivo de 1.00 [gr/cc] fue en promedio de 4800 [m/s] que se encuentran dentro del rango para este diámetro de perforación.

En la figura N°1, se puede ver un registro típico de la velocidad de detonación de un taladro de producción.

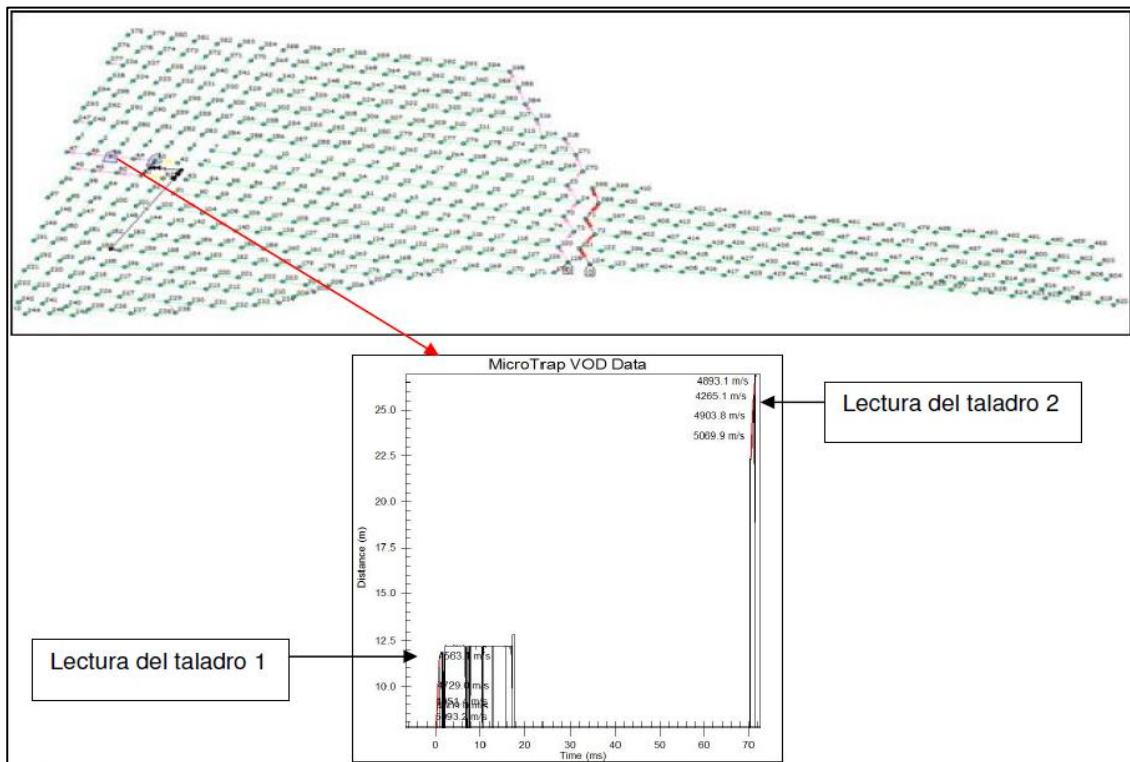
Figura 7 Registro de velocidad de detonación



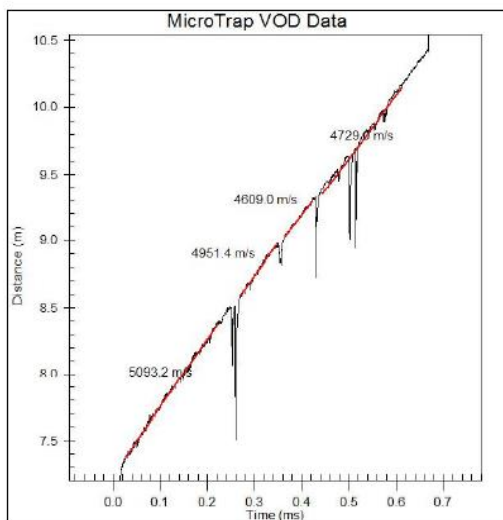
En un registro de velocidad de detonación, como el de la figura N°1, se pueden observar varias velocidades de detonación y que corresponden al desarrollo del explosivo dentro del taladro.

En los diferentes disparos se estuvo colocando los arreglos para medición de los cuales solo al final de las pruebas se obtuvo una lectura legible, correspondiente al disparo realizado en 22 de febrero.

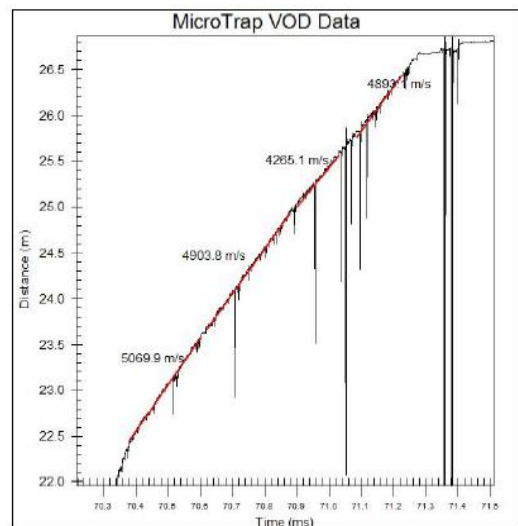
En los diferentes disparos se estuvo colocando los arreglos para medición de los cuales solo al final de las pruebas se obtuvo una lectura legible, correspondiente al disparo realizado en 22 de febrero.



Detalle del taladro 1



Detalle del taladro 2



Fortis Extra Especial	Unidad	Rangos
VOD	m/s	4680 – 5200
Densidad	g/cc	1.00

4.2.1. Determinación de Variables Geodinámicas de Macizo Rocosó

Cálculo de la Velocidad de Onda “P” y Onda “S”

La relación entre las constantes elásticas y la velocidad de propagación se deriva de la teoría de propagación de ondas. La calidad mecánica del macizo rocoso determina de manera directa la velocidad sónica a nivel de matriz. Esta depende del Módulo de Young (que mide la elasticidad del material), del coeficiente de Poisson (una medida de la fragilidad) y de la densidad de la roca (la masa por unidad de volumen). La siguiente ecuación lo explica:

$$V_{pi} = \sqrt{\frac{E(1 - \nu)}{\delta[(1 + \nu)(1 - 2\nu)]}}$$

Donde:

V_{pi} : Velocidad Onda –P a nivel de macizo rocoso y matriz rocosa

E: Modulo de Young

ν : Coeficiente de poisson

δ : Densidad de la roca

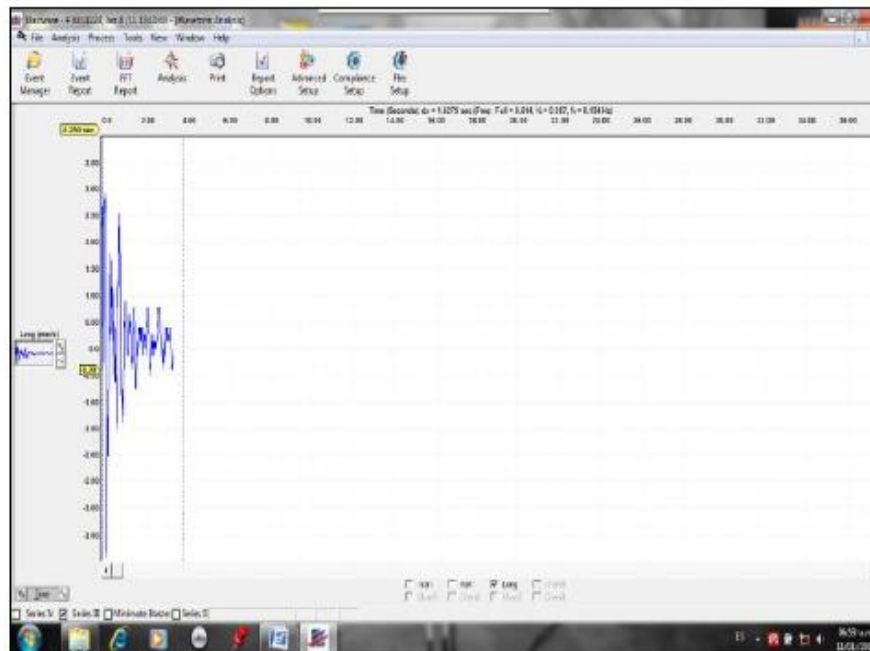
Por otra parte, las mediciones de velocidad de onda P en el macizo rocoso y velocidad de onda S realizadas in-situ mediante la técnica sísmica de refracción nos permiten determinar un adecuado valor de las características geodinámicas del terreno, determinando el módulo de Young y poisson característico de los diferentes tipos de litología.

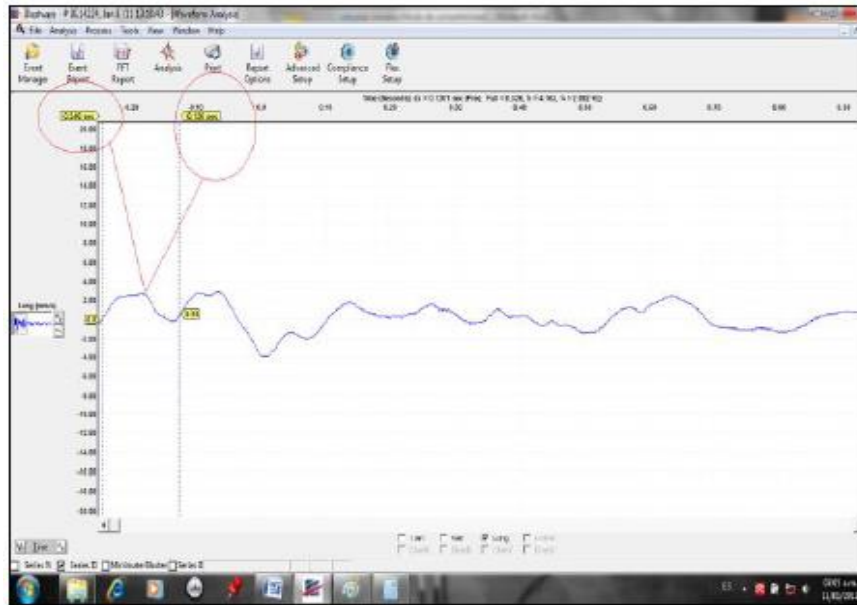
ZONAS LITOLÓGICAS	Vp –Macizo rocoso (m/s)	Vs –Macizo rocoso [m/s]	E dinámico Macizo rocoso (Mpa)	Poisson dinámico
CLARITA	2625.00	1676.46	16200.23	0.16
TENTADORA	3779.52	2195.12	30007.25	0.25
COHAVARA	4220.59	2671.41	41598.32	0.17

4.2.2. Determinación de la velocidad de onda P y S “tajo Clarita”

Determinación de la velocidad de onda P “clarita”

Onda P calculada por Sísmica de Refracción se utilizó Geófono solo Eje Longitudinal





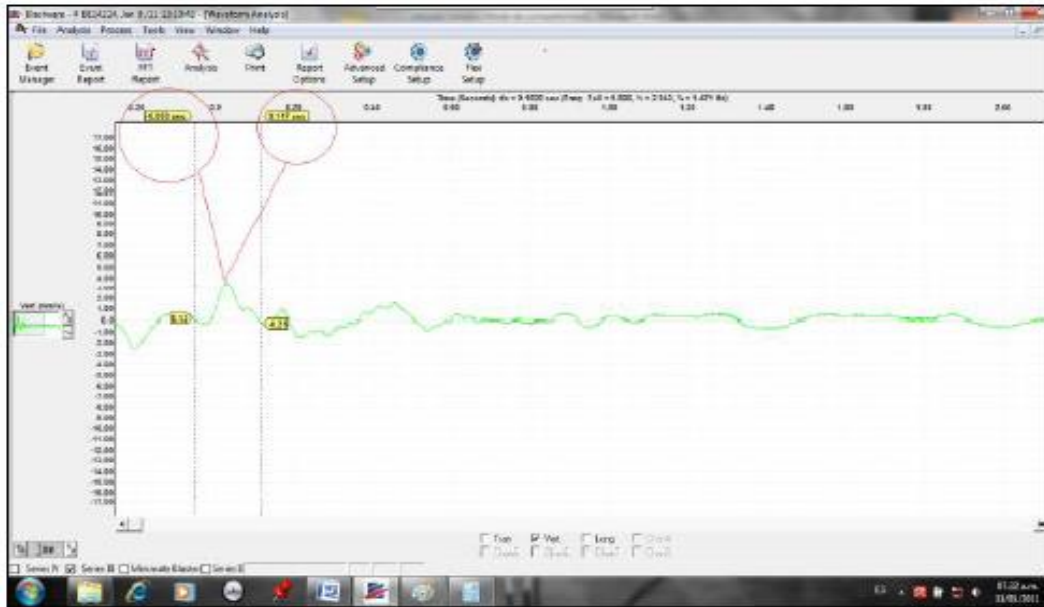
Se observa que la onda p genera un tiempo t_1 de lledada entre $-0.246s.$ y t_2 de $-0.126s,$ teniendo un periodo de oscilación de $0.12 s.$

El sismógrafo se ubicó a $315 m$ del punto de inicio de la voladura teniendo una V_p representativa de clarita en $2625 m/s.$

Determinación de la velocidad de onda s “clarita”

Onda S calculada por refracción se utilizó geófono solo eje vertical.





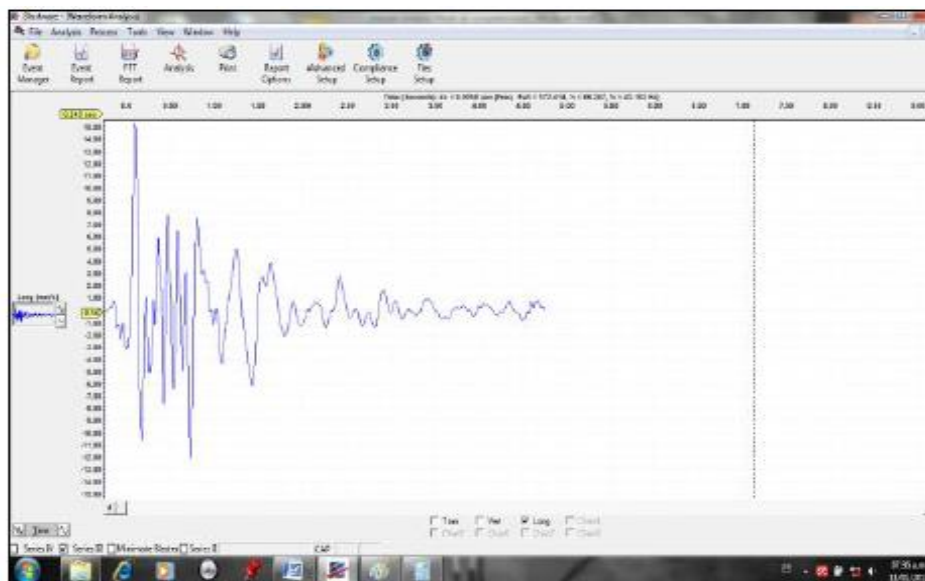
Se observa que la onda S genera un tiempo t_1 de llegada entre $-0.053s.$ y el tiempo t_2 de $+0.117s,$ teniendo un periodo de oscilación de $0.17s.$

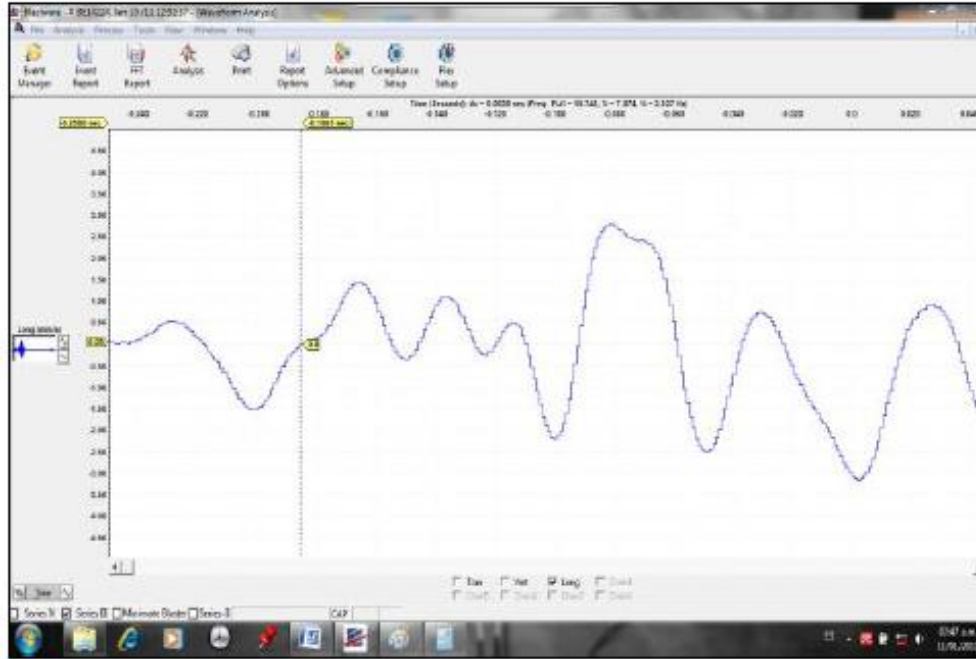
El sísmógrafo de captación de onda se ubicó a 285 m del punto de inicio de la voladura teniendo una V_s representativa de clarita en $1676.46\text{ m/s}.$

4.2.3. Determinación de la Velocidad de onda P Y S “Tajo Tentadora”

Determinación de la velocidad de onda p “tentadora”

Onda p calculada por sísmica de refracción se utilizó geófono solo eje longitudinal



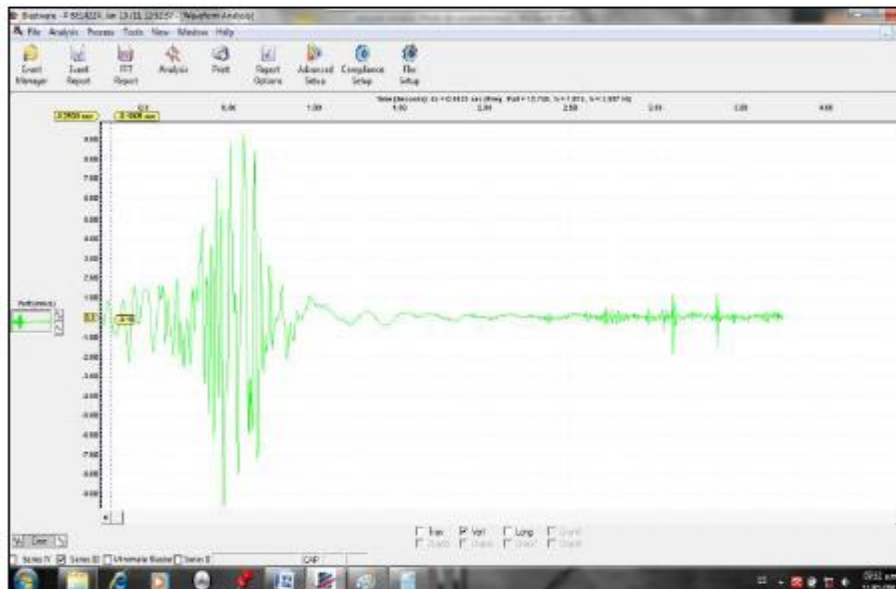


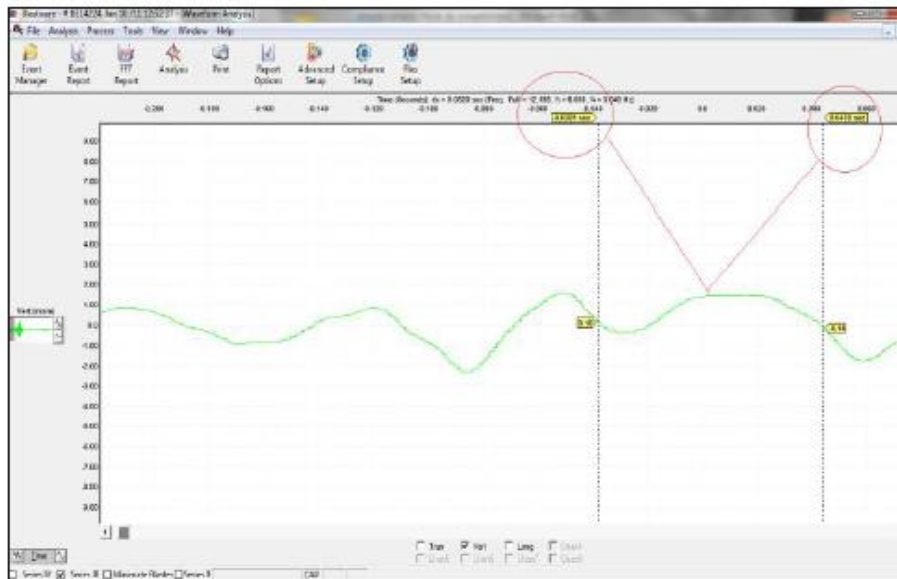
Se observa que la onda p genera un tiempo t_1 de llegada entre -0.2500 s. y t_2 de -0.1865 s, teniendo un periodo de oscilación de 0.0635 s.

El sismógrafo de captación de onda con el geófono uniaxial en el eje longitudinal se ubicó a 240 m del punto de inicio de la voladura teniendo una V_p representativa de tentadora en 3779.527 m/s.

Determinación de la velocidad de onda s “tentadora”

Onda s calculada por sísmica de refracción se utilizó geófono solo eje vertical.





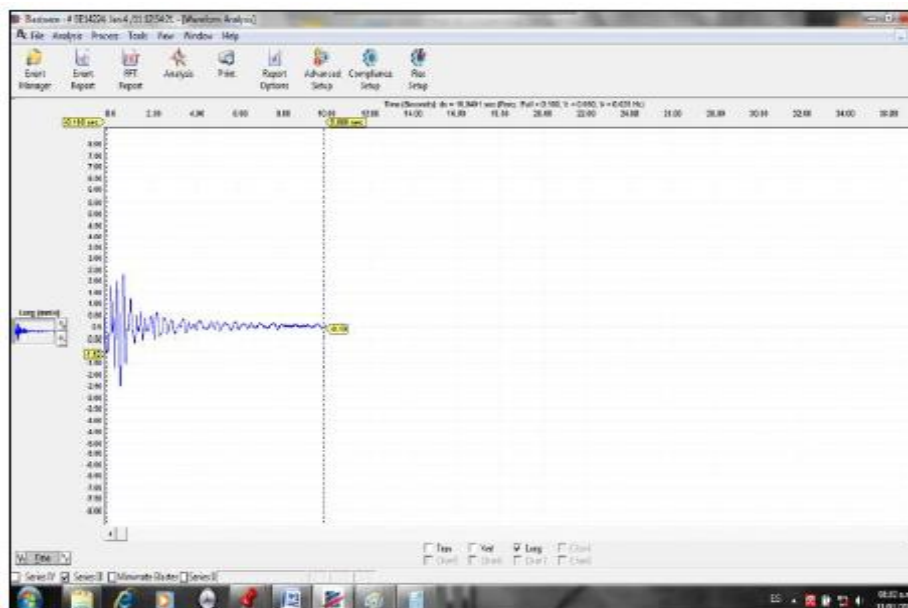
Se observa que la onda s genera un tiempo t_1 de lledada entre $-0.0381s.$ y t_2 de $+0.0439s,$ teniendo un periodo de oscilación de $0.082 s.$

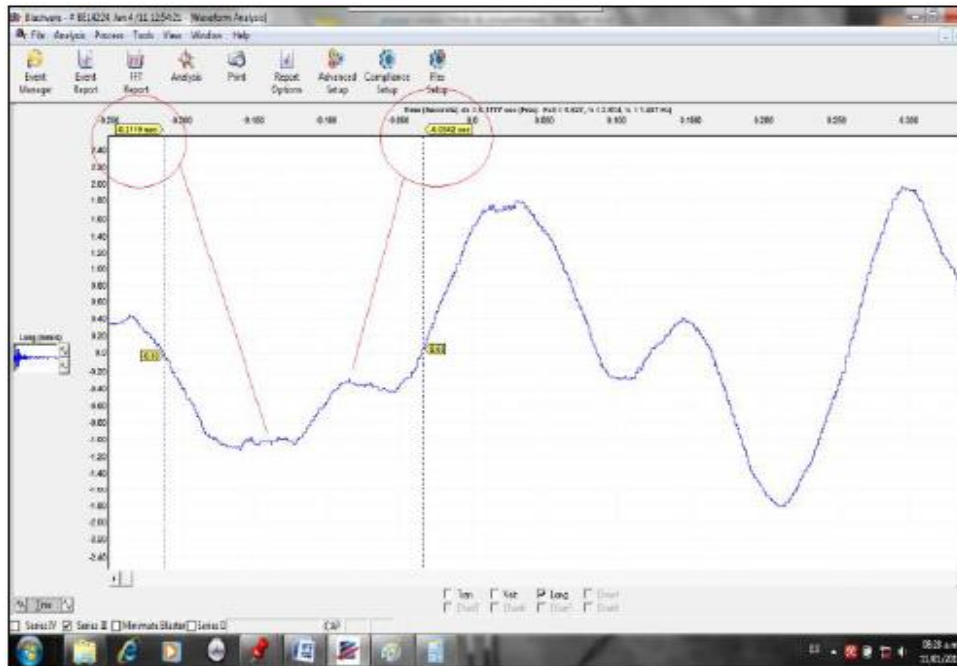
El sismógrafo de captación de onda, con el geófono uniaxial en el eje vertical se ubicó a $180 m$ del punto de inicio de la voladura teniendo una V_s representativa de tentadora 2195.12 en $m/s.$

4.2.4. Determinación de la Velocidad de Onda P Y S “Tajo Cochavara”

Determinación de la velocidad de onda P “Cochavara”

Onda p calculada por sísmica de refracción geófono solo eje longitudinal



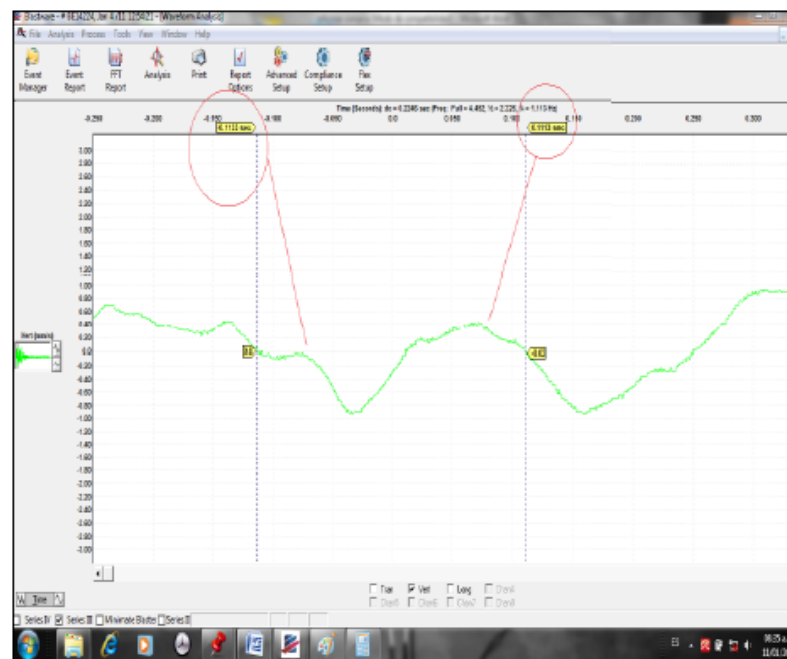
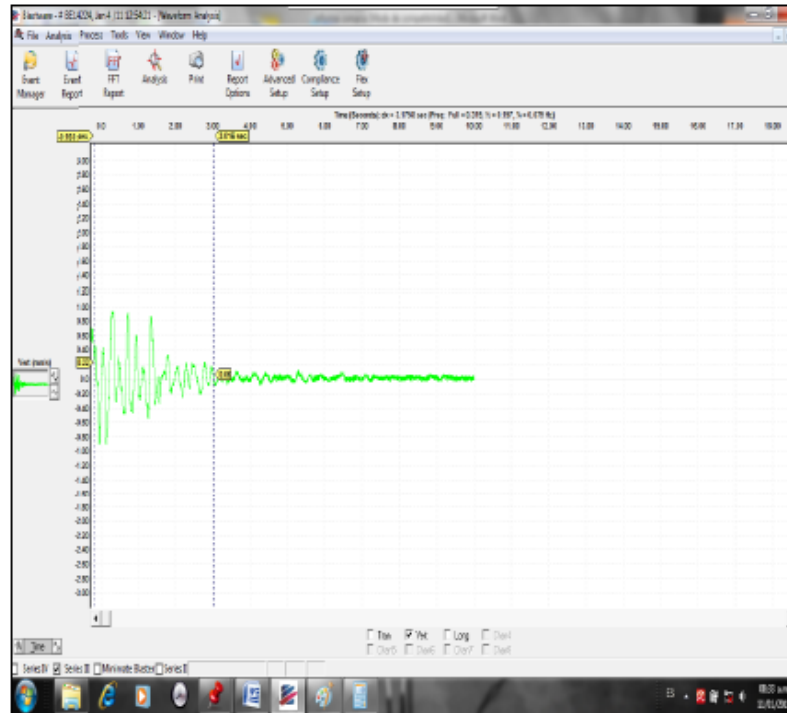


Se observa que la onda p genera un tiempo t_1 de llegada entre $-0.2119s.$ y t_2 de $-0.0342s,$ teniendo un periodo de oscilación de $0.1777 s.$

El sismógrafo de captación de onda con el geófono uniaxial en el eje longitudinal se ubicó a $750 m$ del punto de inicio de la voladura teniendo una V_p representativa de cochavara en $4220.59 m/s.$

Determinación de la velocidad de onda s “cochavara”

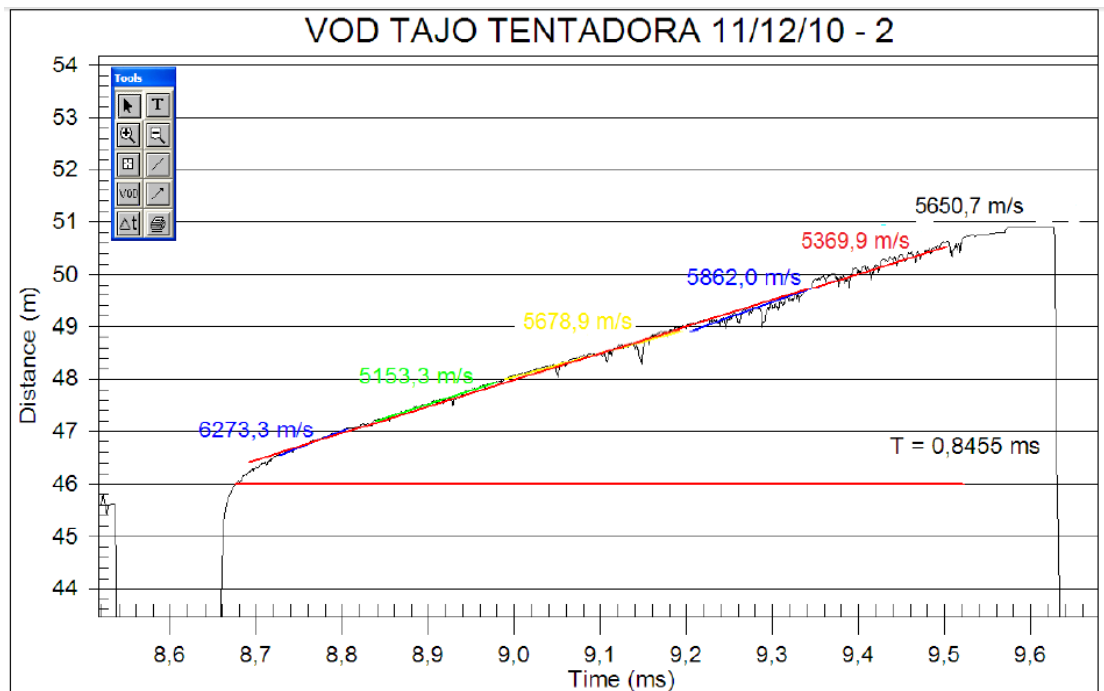
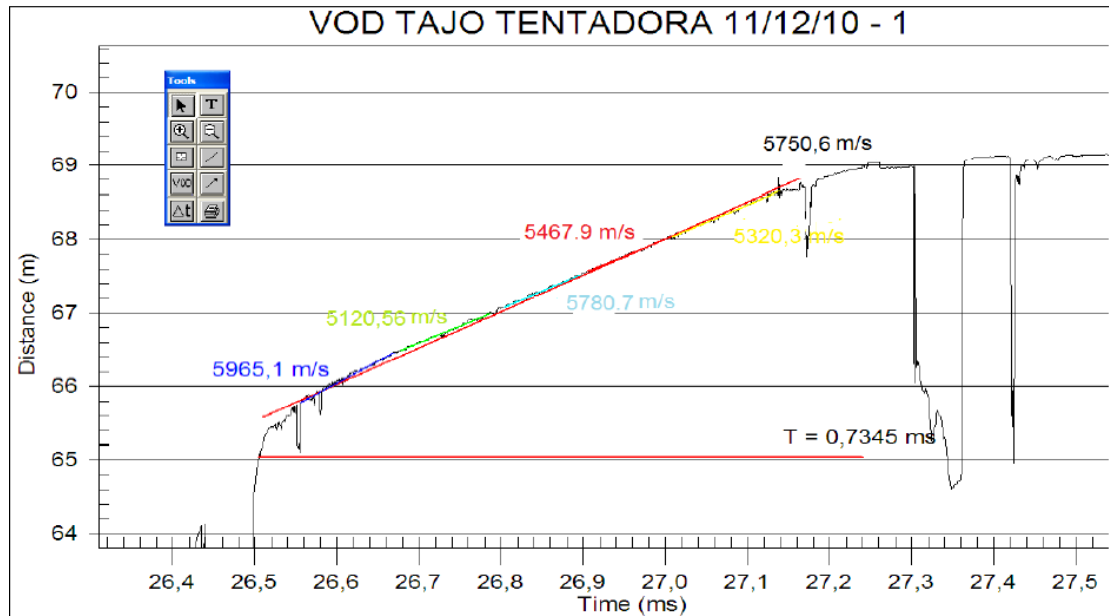
Onda s calculada por sísmica de refracción geófono solo eje vertical

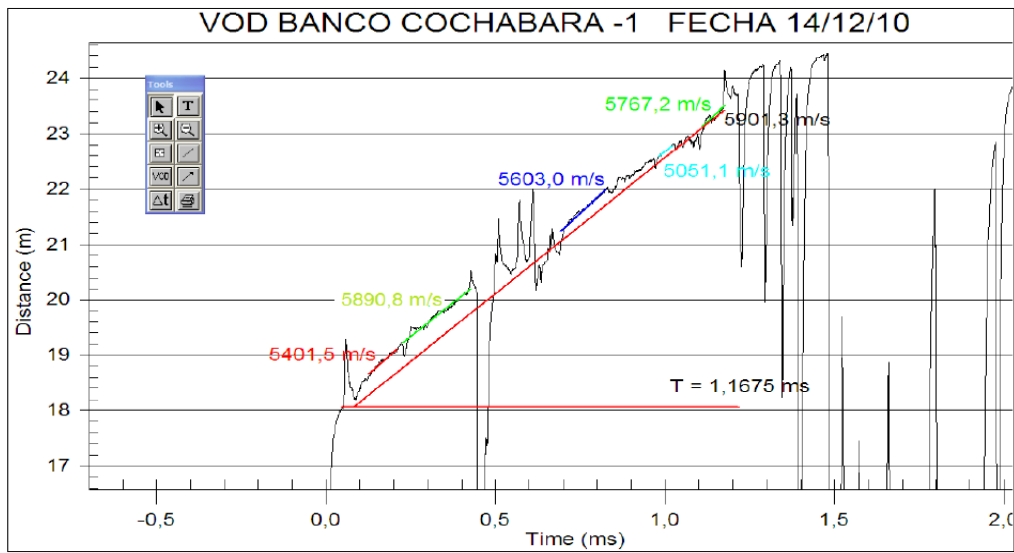
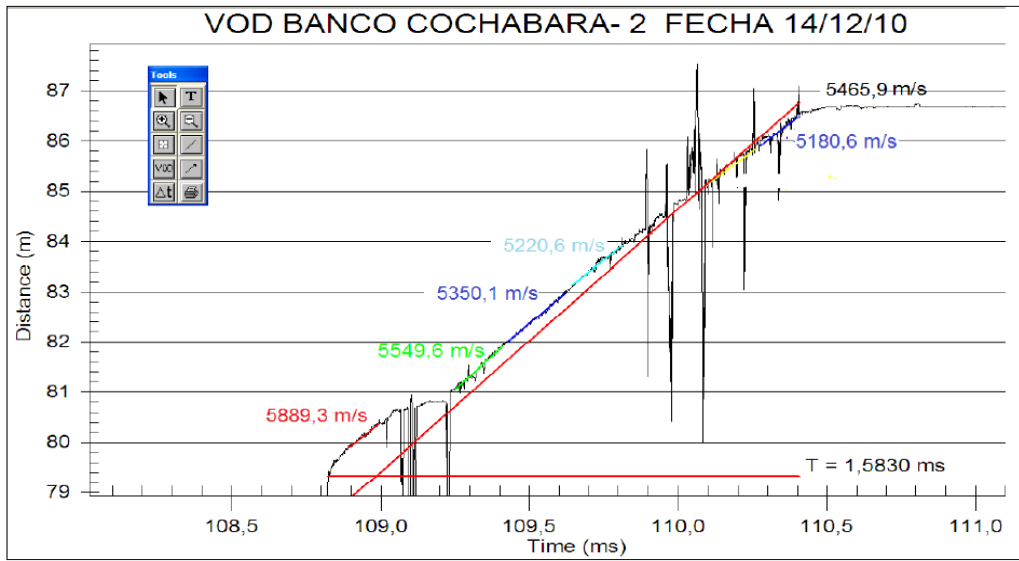


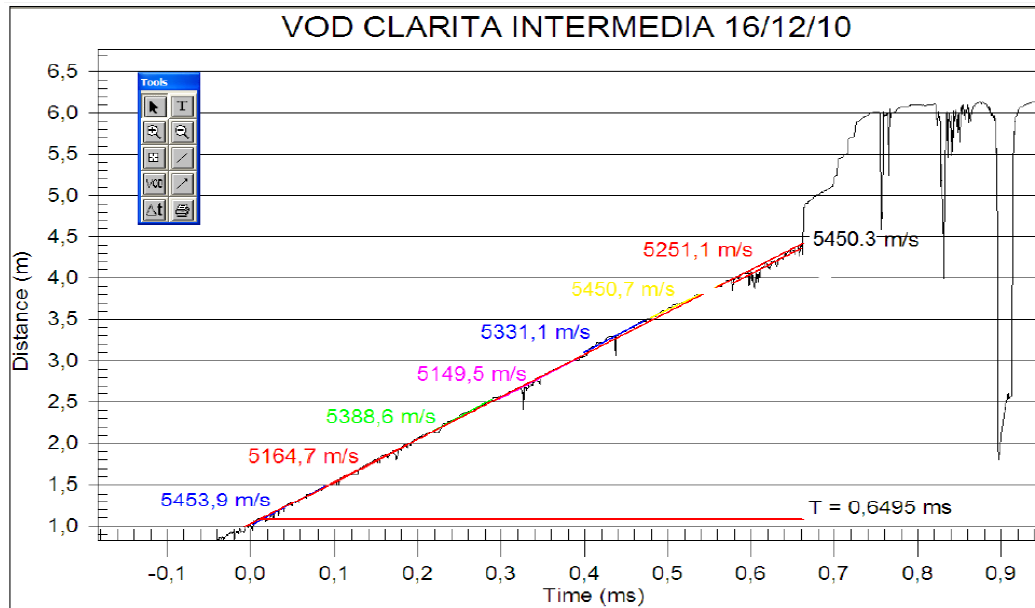
Se observa que la onda s genera un tiempo t_1 de llegada entre -0.1133 s. y t_2 de $+0.1113$ s, teniendo un periodo de oscilación de 0.2246 s.

El sismógrafo de captación de onda, con el geófono uniaxial en el eje vertical se ubicó a 600 m del punto de inicio de la voladura teniendo una V_s representativa de cochavara en 2671.41 m/s.

Registros de velocidades de régimen constante obtenidas en diferentes zonas de Comarsa







4.3. Prueba de Hipótesis

H₀: La No existe diferencia significativa en la productividad al aplicar la forma correcta de la emulsión gasificada Fortis™ Advantage, podemos optimizar los resultados de la voladura en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. – COMARSA.

H₁: La determinación en el uso correcto de la emulsión gaseosa Fortis™ Advantage, podemos mejorar la velocidad de detonación en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. – COMARSA, mejorara significativamente la productividad en la explotación

4.4. Discusión de Resultados

4.4.1. Análisis de Fragmentación del Material Volado

El análisis de la fragmentación obtenido corresponde a la voladura de producción, del día 21, y corresponde a perfiles tomados durante la extracción del material. El total de fotos analizadas en esta voladura es de 10.

En la figura N°2 y N°3, se puede observar los resultados del análisis de fragmentación realizado con el software de procesamiento de imágenes Powersieve de Orica. Los resultados obtenidos indican un 80% bajo 8.7cm (P80= 8.7cm).

Figura 8 *Análisis de fragmentación software Powersieve*

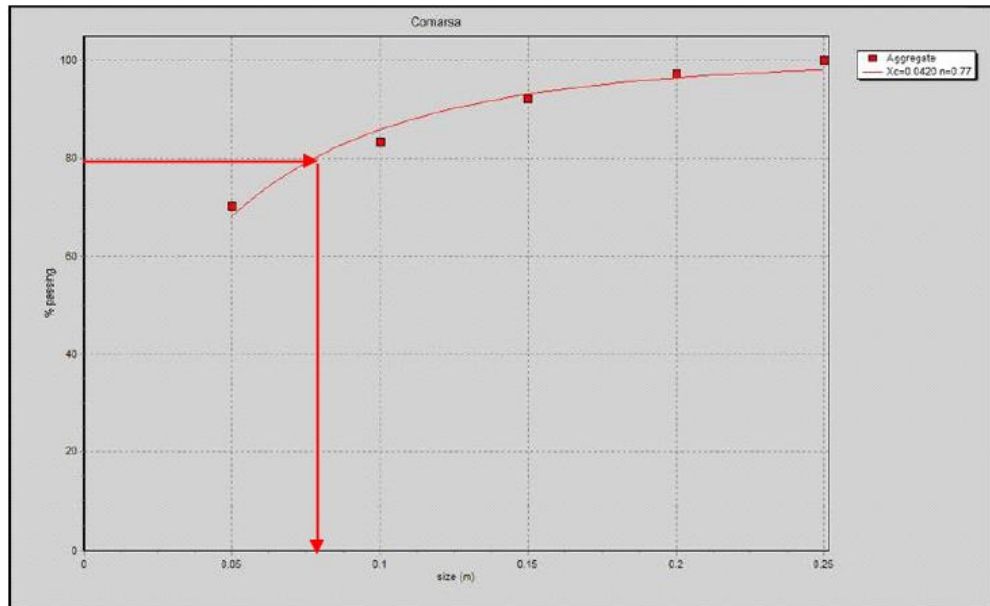


Figura 9 *Tabulación de la fragmentación*



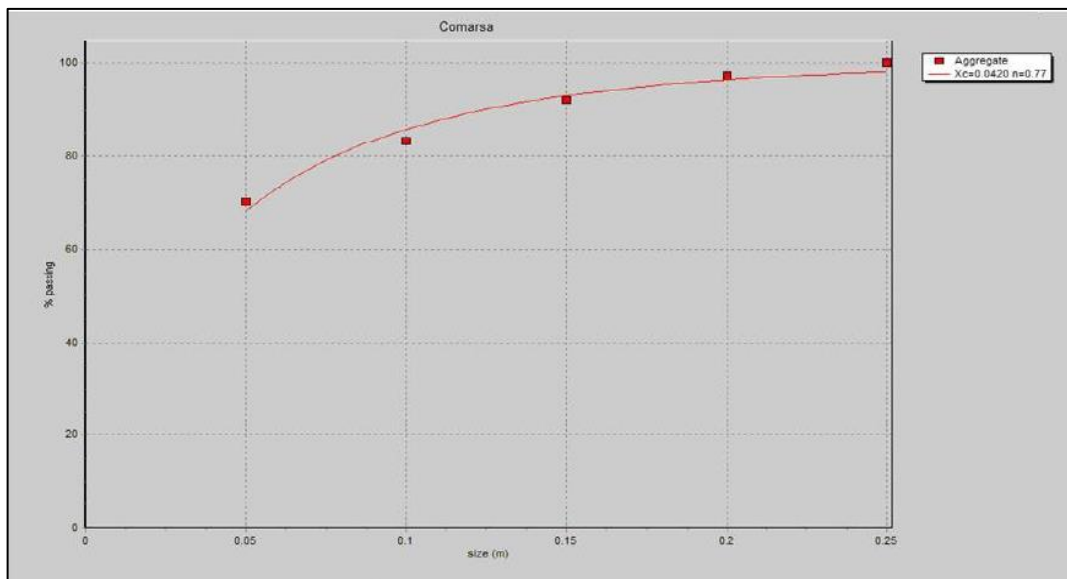
En la figura N°4, se puede observar una fotografía típica para un análisis de fragmentación. Imagen tomada de voladura de producción.

Análisis de Fragmentación del Material Volado

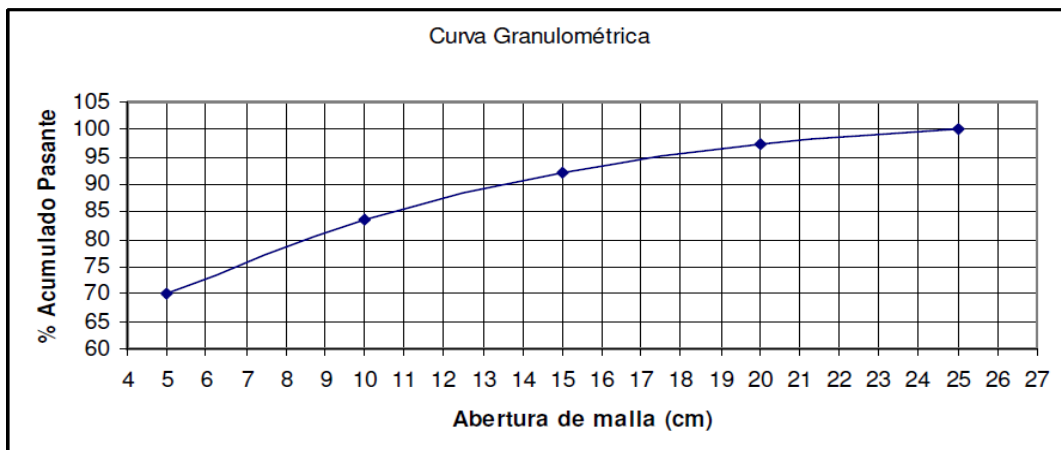
Uso del programa Powersieve para el análisis de fragmentación.

- Curva Granulométrica

Figura 10 Imagen típica para análisis de fragmentación.



- Detalle de la Curva Granulométrica



$$F80 = 8.7cm$$

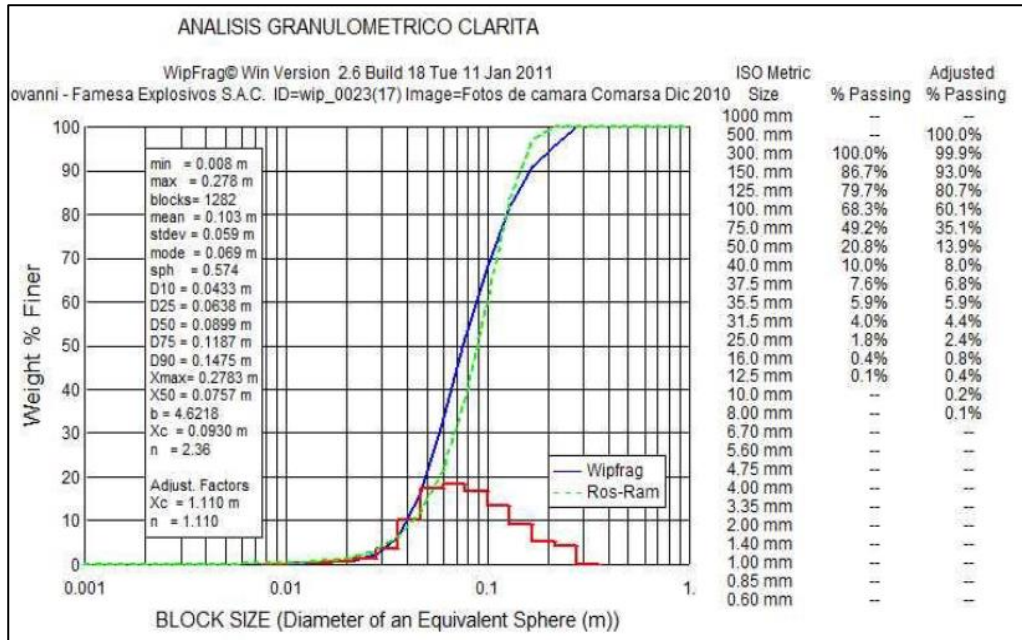
- Pareto de tamaño de fragmentación:

Size (cm)	Cumulative(%)
5	70.1
10	83.5
15	92.1
20	97.4
25	100

4.4.2. Análisis de Granulometría Mediante Software Wipfrag

Análisis Granulométrico en Zona Clarita

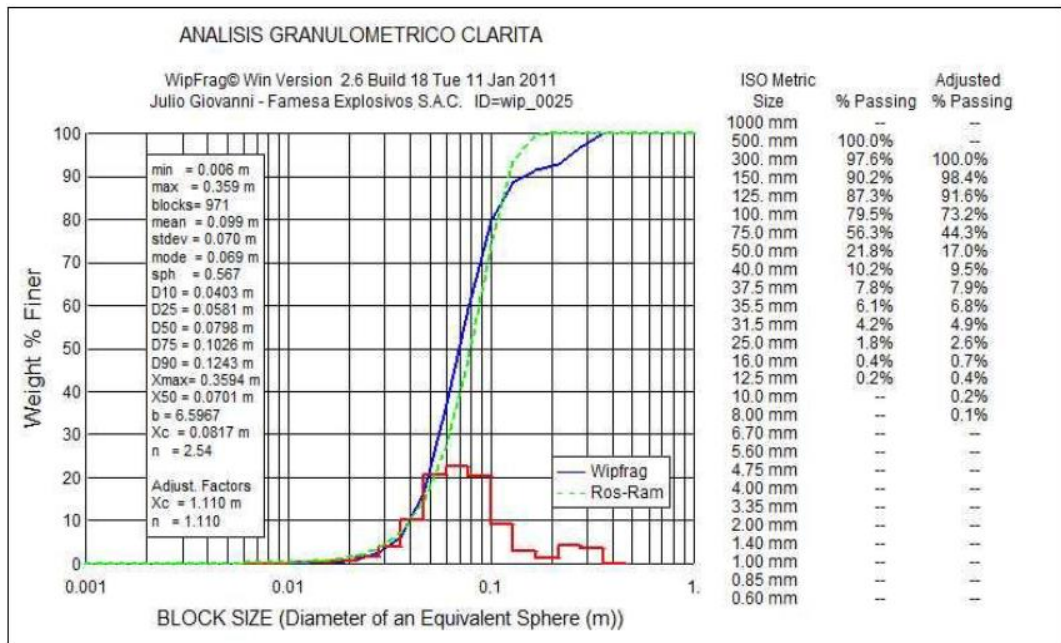
- Inicio de Limpieza



Se observa la similitud entre la gráfica de probabilidad granulométrica y la de ajuste de KUZ-RAM determinando que el valor del índice n de ajuste es de 1.1 para un valor original de 2.36 lo que demuestra la constancia de los finos en el proceso de limpieza producto de la voladura con SAN-G teniendo un porcentaje pasante en el percentil D90 en 0.1475 m lo que indica que el 90 % del material pasa por una malla de 14.75 cm de abertura, tamaño característico de fragmento 9.3 cm, tamaño máximo de fragmento 27.83 cm.



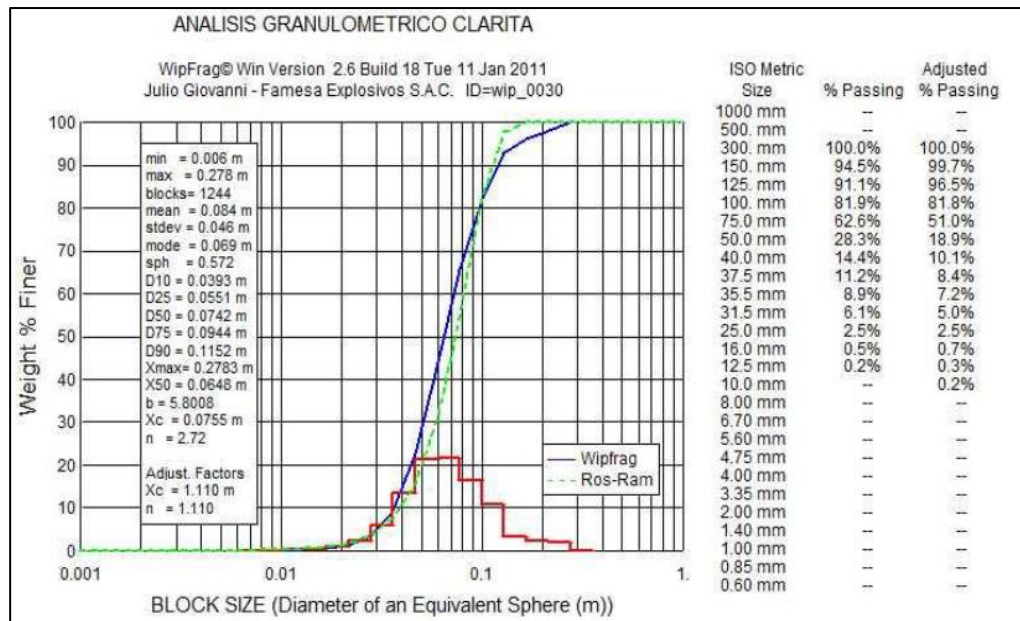
- **Mitad de Limpieza**



Se observa la similitud entre la gráfica de probabilidad granulométrica y la de ajuste de KUZ-RAM determinando que el valor del índice n de ajuste es de 1.1 para un valor original de 2.54 lo que demuestra la constancia de los finos en el proceso de limpieza producto de la voladura con SAN-G teniendo un porcentaje pasante en el percentil D90 en 0.1243 m lo que indica que el 90 % del material pasa por una malla de 12.43 cm de abertura, tamaño característico de fragmento 8.17 cm , tamaño máximo de fragmento 35.8cm.



- **Concluyendo Limpieza**

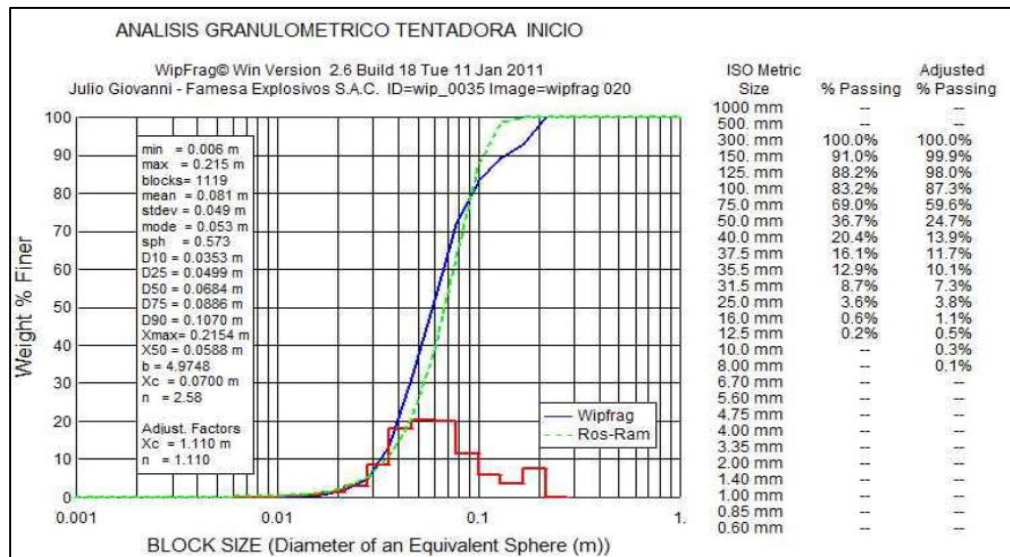


Se observa la similitud entre la gráfica de probabilidad granulométrica y la de ajuste de KUZ-RAM determinando que el valor del índice n de ajuste es de 1.1 para un valor original de 2.72 lo que demuestra la constancia de los finos en el proceso de limpieza producto de la voladura con FORTIS teniendo un porcentaje pasante en el percentil D90 en 0.1152 m lo que indica que el 90 % del material pasa por una malla de 11.52 cm de abertura, tamaño característico de fragmento 7.55 cm , tamaño máx. de fragmento 27.83 cm.



Análisis Granulométrico en Tajo Tentadora

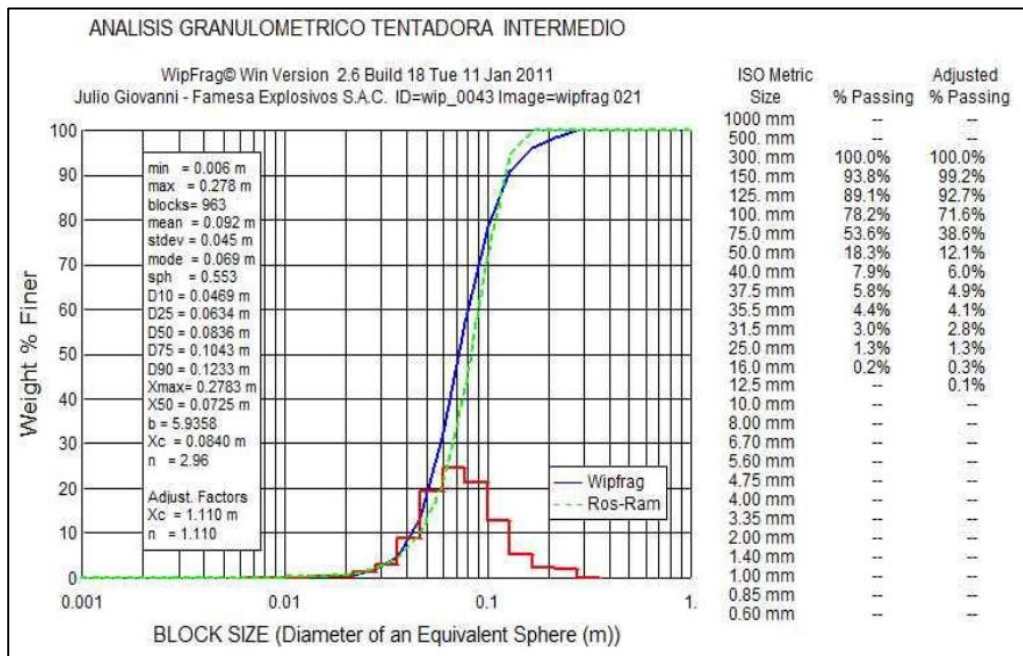
- **Al Iniciar La Limpieza**



Se observa la similitud en la gráfica de probabilidad granulométrica y la de ajuste de KUZ-RAM determinando que el valor del índice n de ajuste es de 1.1 para un valor original de 2.58 lo que demuestra la constancia de los finos en el proceso de limpieza producto de la voladura con FORTIS teniendo un porcentaje pasante en el percentil D90 en 0.1070 m lo que indica que el 90 % del material pasa por una malla de 10.70 cm de abertura, tamaño característico de fragmento 7 cm, tamaño máximo de fragmento 0.21m

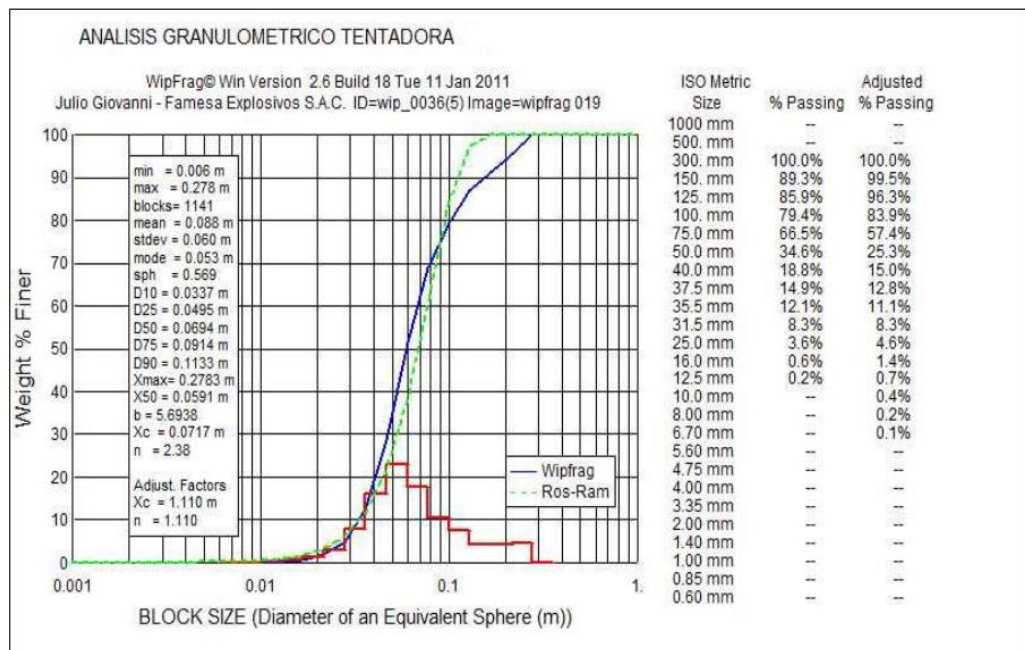


- **Mitad de la Limpieza**



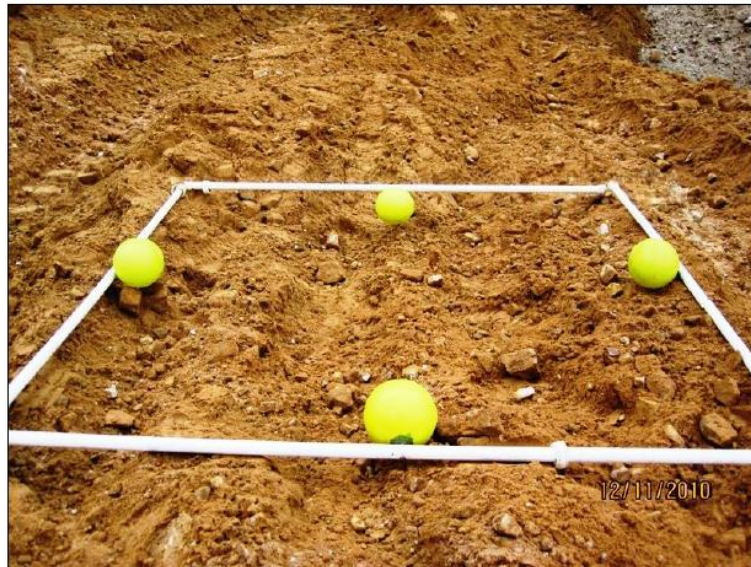


- **Concluyendo limpieza**



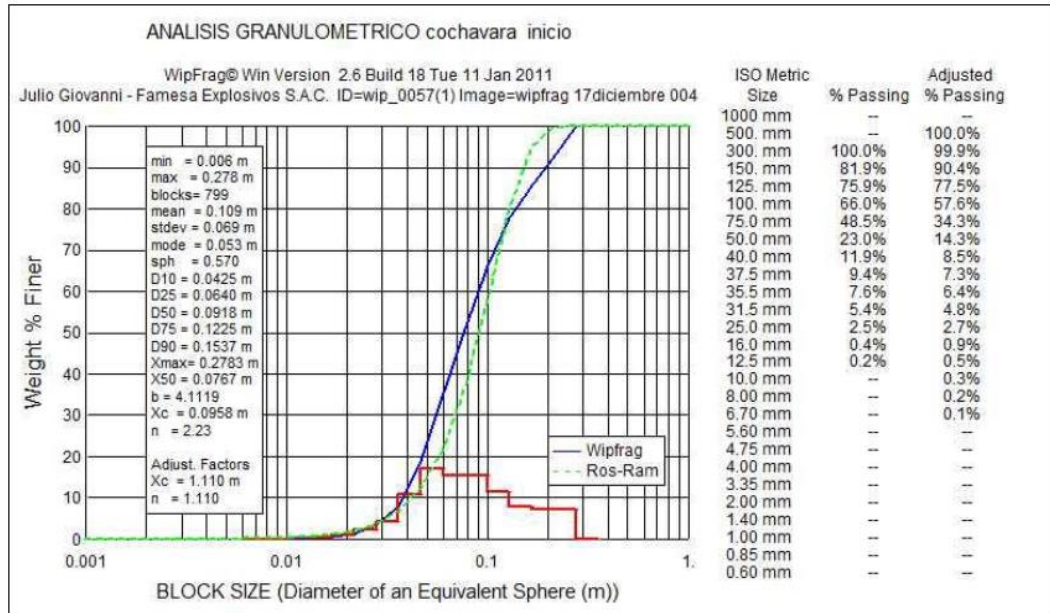
Se observa la similitud en la gráfica de probabilidad granulométrica y la de ajuste de KUZ-RAM determinando que el valor del índice n de ajuste es de 1.1 para un valor original de 2.38 lo que demuestra la constancia de los finos en el proceso de limpieza producto de la voladura con FORTIS teniendo un porcentaje pasante en el percentil D90 en 0.1133 m lo que indica que el 90 %

del material pasa por una malla de 11.33 cm de abertura, tamaño característico de fragmento 7 cm, tamaño máximo de fragmento 0.28m



Análisis Granulométrico en Tajo Cochavara

- Al Iniciar la Limpieza

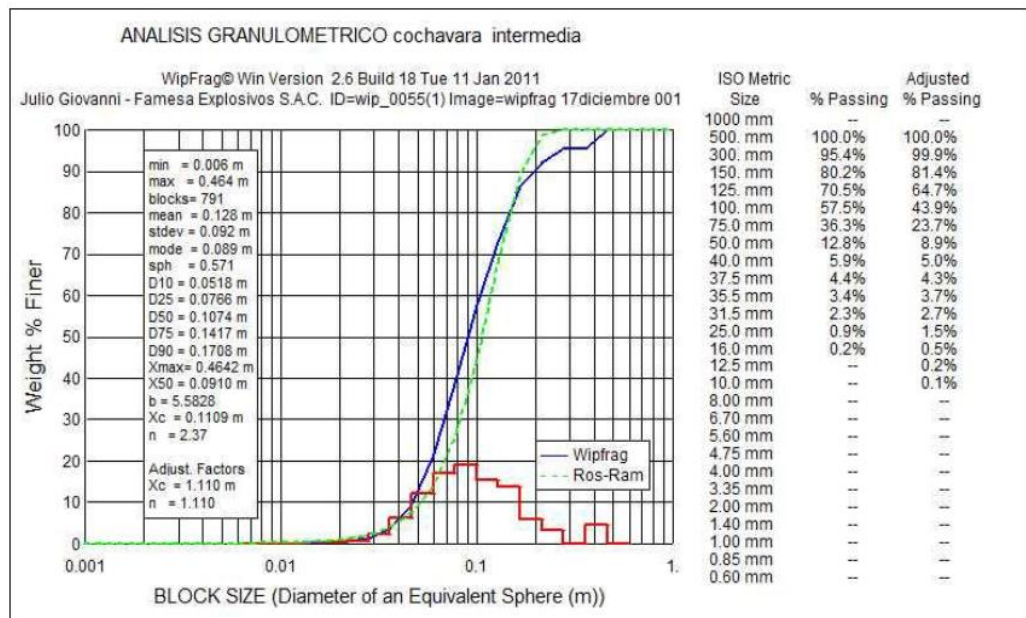


Se observa la similitud en la gráfica de probabilidad granulométrica y la de ajuste de KUZ-RAM determinando que el valor del índice n de ajuste es de 1.1 para un valor original de 2.23 lo que demuestra la constancia de los finos

en el proceso de limpieza producto de la voladura con FORTIS teniendo un porcentaje pasante en el percentil D90 en 0.1537 m lo que indica que el 90 % del material pasa por una malla de 15.37 cm de abertura, tamaño característico de fragmento 9.58 cm, tamaño máximo de fragmento 27.83 cm.



- **Mitad de la Limpieza**

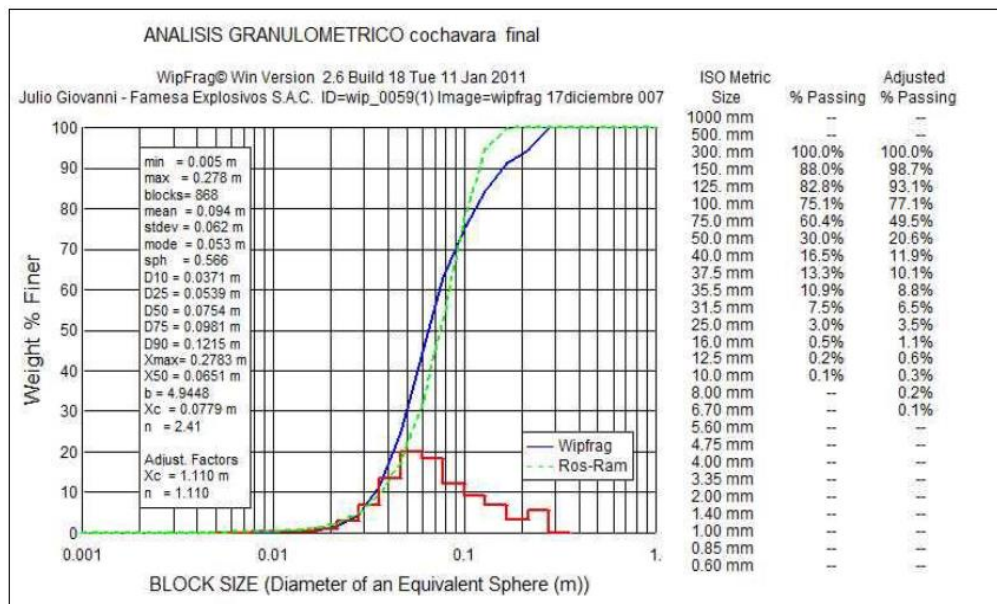


Se observa la similitud en la gráfica de probabilidad granulométrica y la de ajuste de KUZ-RAM determinando que el valor del índice n de ajuste es de 1.1 para un valor original de 2.37 lo que demuestra la constancia de los finos

en el proceso de limpieza producto de la voladura con FORTIS teniendo un porcentaje pasante en el percentil D90 en 0.1708 m lo que indica que el 90 % del material pasa por una malla de 17 cm de abertura, tamaño característico de fragmento 9.58 cm, tamaño máximo de fragmento 46.42 cm.



- **Al terminar la limpieza**



Se observa la similitud en la gráfica de probabilidad granulométrica y la de ajuste de KUZ-RAM determinando que el valor del índice n de ajuste es de

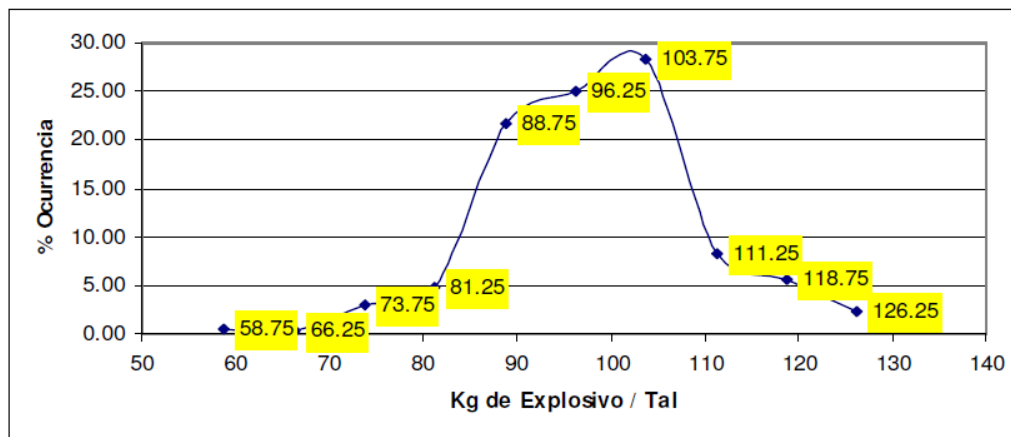
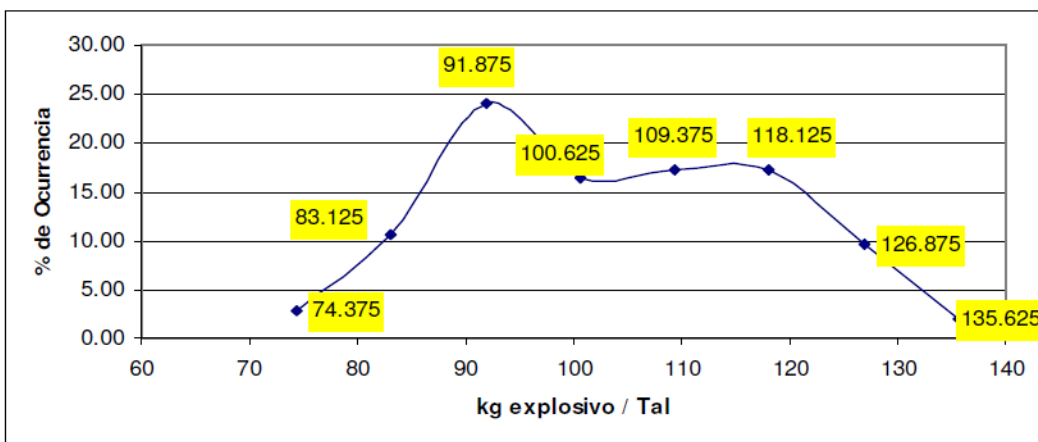
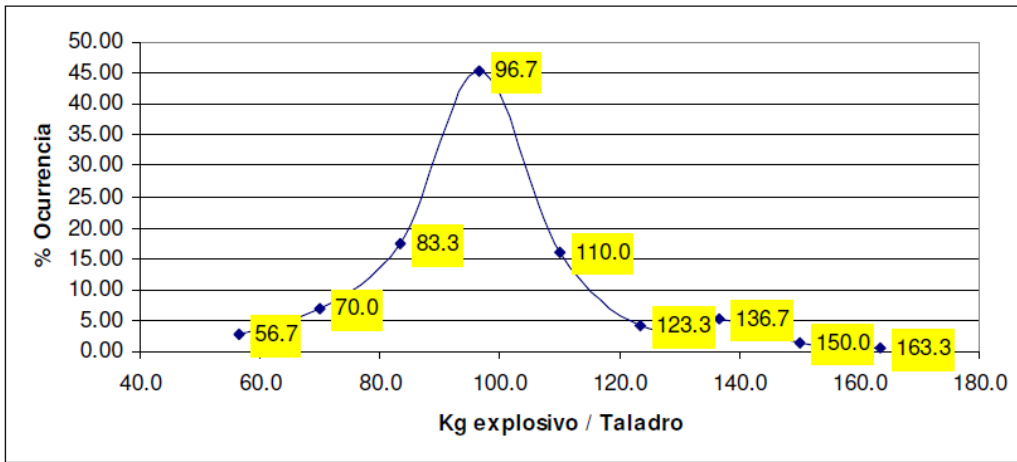
1.1 para un valor original de 2.41 lo que demuestra la constancia de los finos en el proceso de limpieza producto de la voladura con FORTIS teniendo un porcentaje pasante en el percentil D90 en 0.1215 m lo que indica que el 90 % del material pasa por una malla de 12.15 cm de abertura, tamaño característico de fragmento 6.51 cm, tamaño máximo de fragmento 27.83 cm.

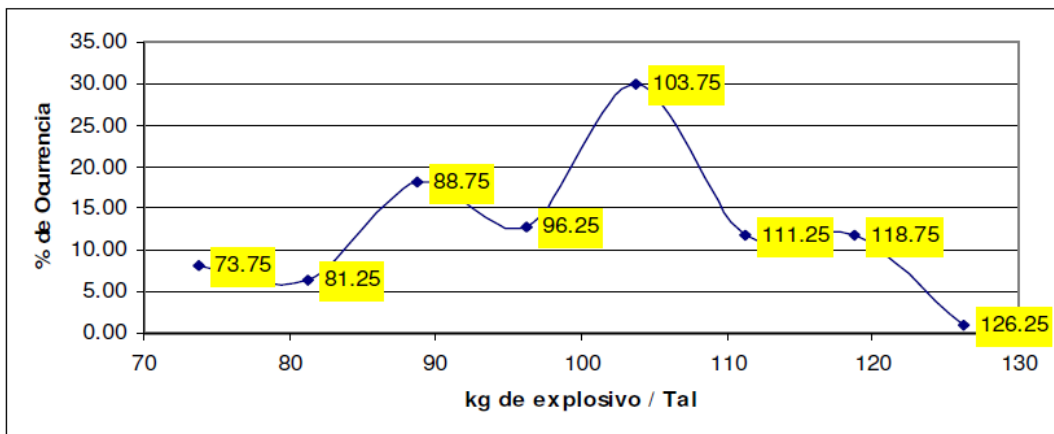
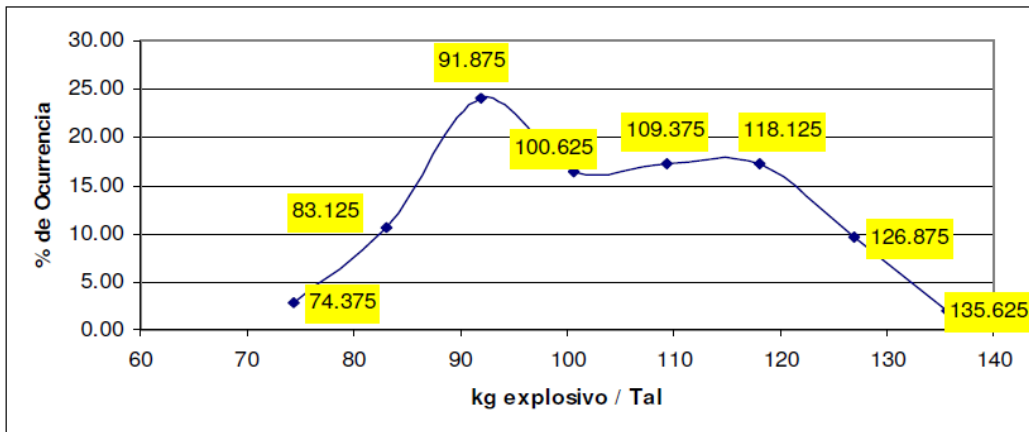


4.4.3. Análisis estadístico en el carguío

En las siguientes tablas se muestran los resultados de los primeros 4 días de pruebas:

	18-Feb	20-Feb	21-Feb	22-Feb
Banco	372	395	104	110
N° intervalos	9	10	8	8
Mínimo	5	55	70	70
Máximo	170	130	140	130
Rango	120	75	70	60
Amplitud	13,33	7,5	8,75	7,5
Promedio	97,1	97,4	103,5	98,6
Banco	468	528	492	462
Factor de potencia (kg/tm)	0,29	0,29	0,31	0,29





CONCLUSIONES

1. La densidad promedio del Fortis Advantage gasificado es de 1.0g/cc, con un porcentaje de inyección de nitrito de sodio de 0.45%.
2. El tiempo de gasificado es de aproximadamente 25 minutos para lograr la densidad de copa de 1.0g/cc.
3. Los VOD registrados al producto Fortis™ Advantage, para un diámetro de 6 1/8" y una densidad de 1.0g/cc, se encuentra dentro de los rangos normales para este tipo de producto.
4. La fragmentación en general es buena en la gran mayoría de las voladuras realizadas con Fortis™ Advantage. El P80 de 8.9cm, registrados en la voladura del día 21 de febrero es representativa para las demás voladuras.
5. Las filmaciones con cámara de alta velocidad, nos muestran una fuerte eyección del material durante el desarrollo de la voladura, las causas principales de esta fuerte eyección son: el tipo de material que se usa para el tapado del taladro (material de la perforación) es muy fino y no genera resistencia al desarrollo del explosivo, la otra causa es el tiempo entre fila, 42ms, tiempo que no permite un buen alivio del burden, voladura confinada, la iniciación tipo diamante por lo general tiene a lo menos dos taladros del medio de la voladura detonando en forma simultánea y finalmente el tiempo de 800ms en el fondo del taladro genera cargas detonando fuera de secuencia en una misma fila de taladros.
6. El tiempo que Orica usará en el fondo es de 600ms, tiene una dispersión del orden del 2%, lo que disminuirá sustancialmente la detonación de taladros fuera de secuencia en una misma línea.
7. El usar el tiempo de 600ms en el fondo, no genera ningún peligro de corte de tubo debido principalmente por el tipo de secuencia que se usa, tipo diamante, la voladura esta completamente encendida en superficie antes de salir la detonación del primer taladro y corte

de tubo por flyrock la probabilidad de corte es muy remota. Análisis realizado al jefe de P&V Comarsa.

8. En un gran porcentaje de los taladros el diámetro final de perforación es mayor al teórico, dada la erosión que se genera al momento de perforar. Por lo que la densidad promedio del explosivo es superior a 1.0g/cc

RECOMENDACIONES

1. Los parámetros de gasificación de la emulsión Fortis™ Advantage se deben de mantener para tener una densidad de copa final de 1.0g/cc.
2. Para controlar la eyección de material volado, se debe analizar lo siguiente, en forma secuencial:
 - Cambiar el tiempo entre filas a 100ms, con esto se mejora el alivio del burden del material, para el tipo de material de Comarsa el burden de alivio debe estar entre 20 a 25ms/m, el burden de alivio actual es de 8.7ms/m.
 - Aumentar el largo del taco a lo menos en unos 20 [cm], con esto se tendría un taco final de 2.7 [cm]. La fragmentación no se verá afectada al generar una buena retención del taco.
 - Finalmente se deba ampliar la malla de perforación para generar una mejor relación efectiva entre burden y espaciamiento de los taladros.
 - Cada uno de estas modificaciones debe ser evaluada en términos de fragmentación (análisis con software Powersieve) y la eyección del taco a través de filmaciones con cámara de alta velocidad.
 - También se debe analizar la opción de usar tiempo menores a 600 ms en el fondo del taladro, tales como 350,400, para generar un buen desempeño de los taladros dentro de una misma fila.
3. Se debe realizar una prueba con densidad de copa del explosivo mayor 1.15g/cc, con el propósito de medir su VOD, el de VOD debe ser mayor a lo registrado y con este valor analizar la posibilidad de aumentar la malla.
4. Una disminución del diámetro de perforación puede entregar los beneficios de mantener la carga de kilogramos por taladro, mejorar la eyección del material volado y generar taladros más homogéneos

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Minera Aurífera Santa Rosa S.A.: Departamento de Ingeniería

Minera Aurífera Santa Rosa S.A.: Departamento de Perforación y Voladura.

Minera Aurífera Santa Rosa S.A.: Departamento de Geología.

Calvin Conya: Blast Design Handbook.

Manuel Bustillos: Manual de diseño de minas a cielo abierto, segunda Edición.

Carlos Scherpenisse: Evaluación de Daño en las paredes, seminario EXSA octubre 2006

Michael Montoya: Cometarios sobre el uso de emulsiones en Anfos pesado, información interna de EXSA, octubre 2006

Lopez Jimeno: Perforación y Voladura 1995

B.A. Kennedy: Surface mining; segunda edición

William Hustrualid: Blasting principle for open pit mining.

EXSA: “Manual Práctico de Voladura”. Editorial Lima – Perú (2001).

Hock y Brown. “Excavaciones Subterráneas en Rocas”. Editorial Mc Graw Hill. México (1980).

López Jimeno C. “Cálculo y Diseño de Voladura en Túneles. Fundación Gómez – Pardos (1986).

Richard E. Gertsch and Richard L. Bullock. “Techniques in Underground Mining”. Society for mining (1998).

“Fragmentación Sustentable”, Aplicación de las Ingeniería Geotécnica & Voladura, agregando valor en el negocio minero, Carlos Scherpenisse, Alex Calderon.MSc. Arequipa – Perú.

“Hidrometalurgia, Fundamentos, Procesos y Aplicación”, Domic Mihovilovic – 2001. Santiago de Chile. - “Introducción a Técnicas Eficientes de Voladura”, John L. Floyd. – 1998.

“Blasting Principles For Open Pit Mining”, William A. Hustrulid. – 1999. A.A. Balkema, Rotterdam. - Información de Tonelaje Y Recuperación Metalúrgica Proporcionada por el Departamento de Investigación Metalúrgica de la mina Comarsa

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.

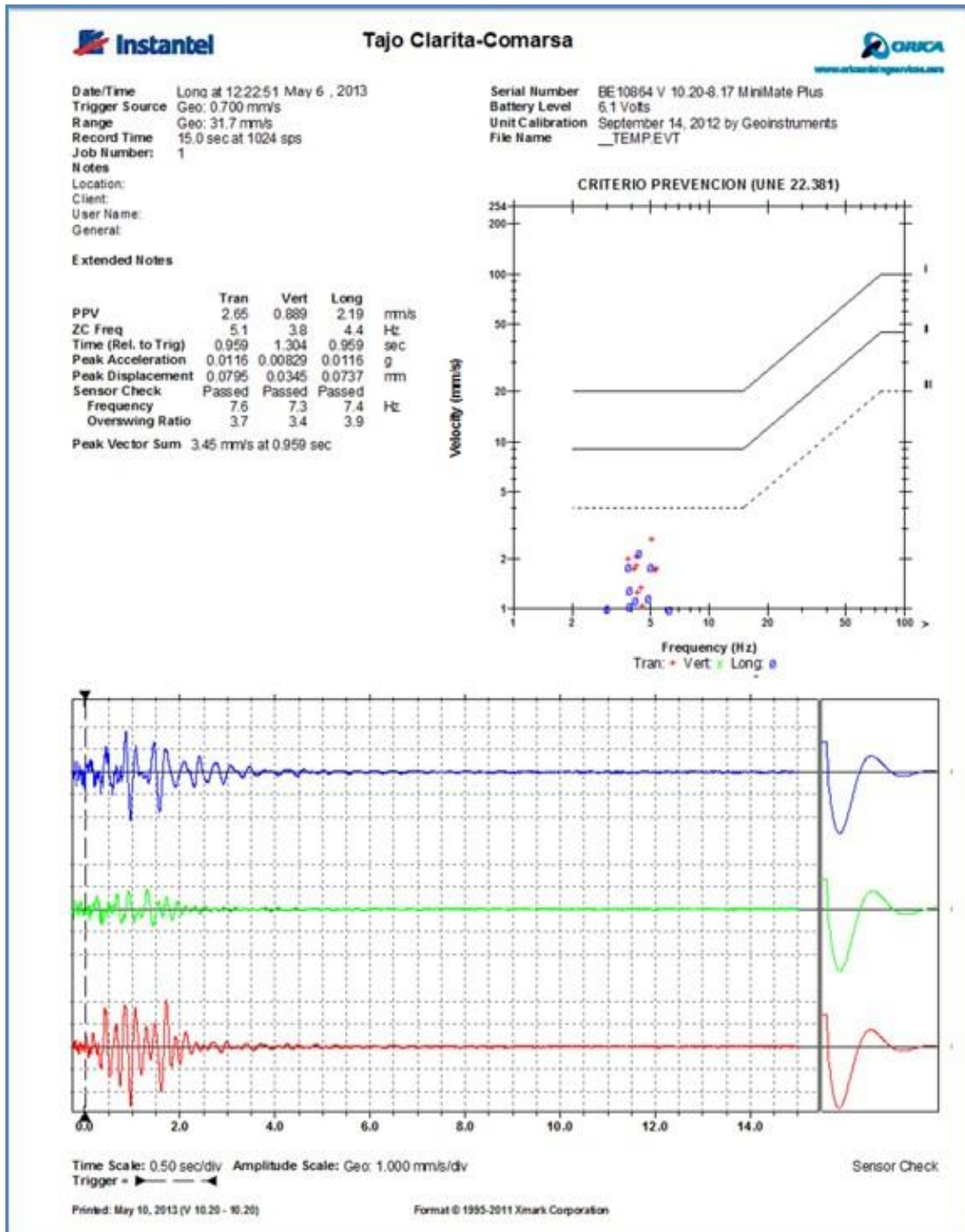
Lopez jimeno, c. (1987). Manual de perforación y voladura. (i. G. España, ed.) Mamani, e. (2018).

Aplicación de Emulsión Gasificada (San-G) Y Su Factibilidad En El Rendimiento De Columna Explosiva De La Compañía Minera “La Zanja” Cajamarca 2014. [tesis de licenciamiento, U.N. Jorge Basadre Grohmann - Tacna] repositorio institucional.

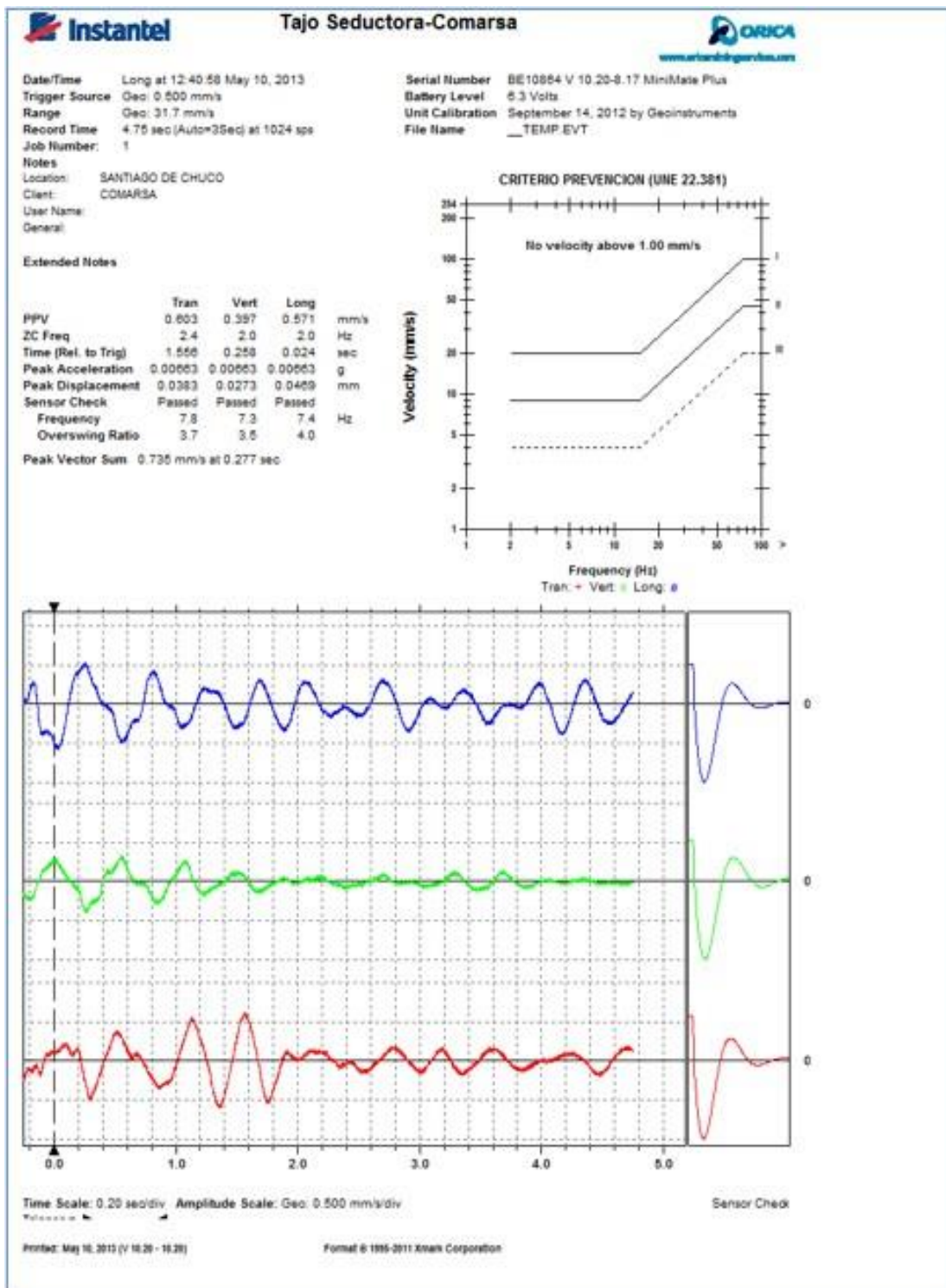
ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos.

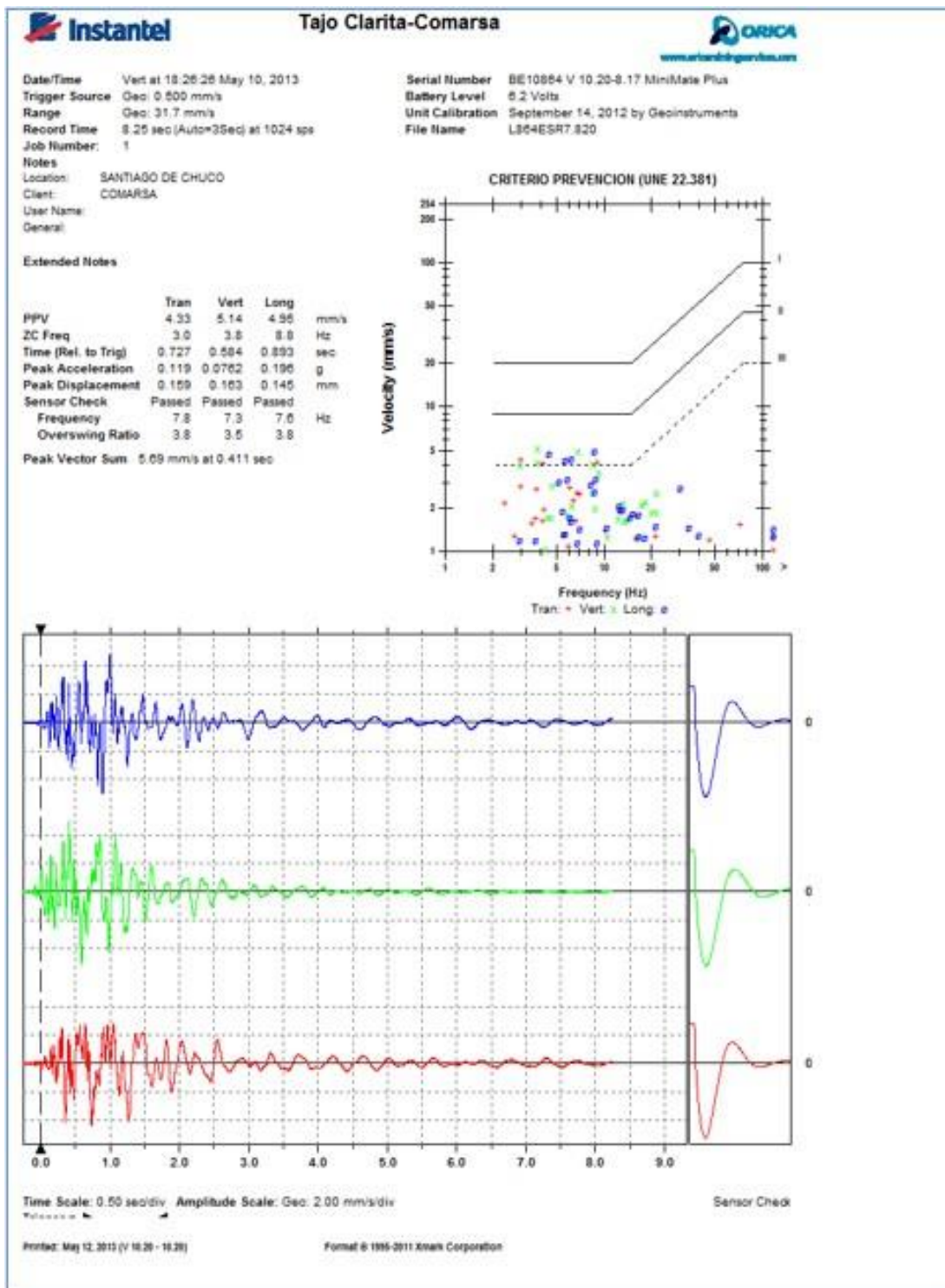
Registro de vibraciones disparo 1 Taja Clarita:



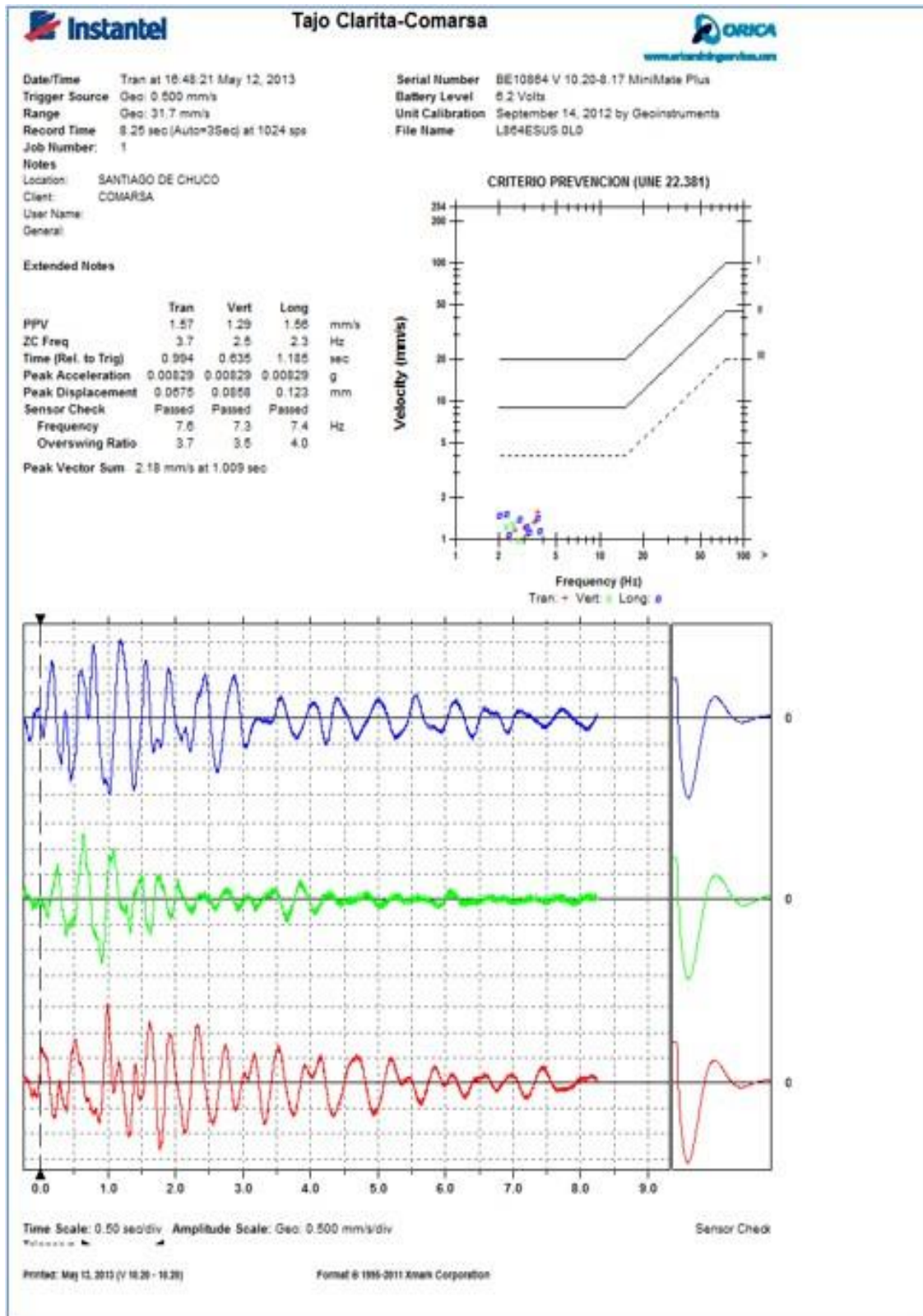
Registro de vibraciones disparo 2 Taja Seductora:



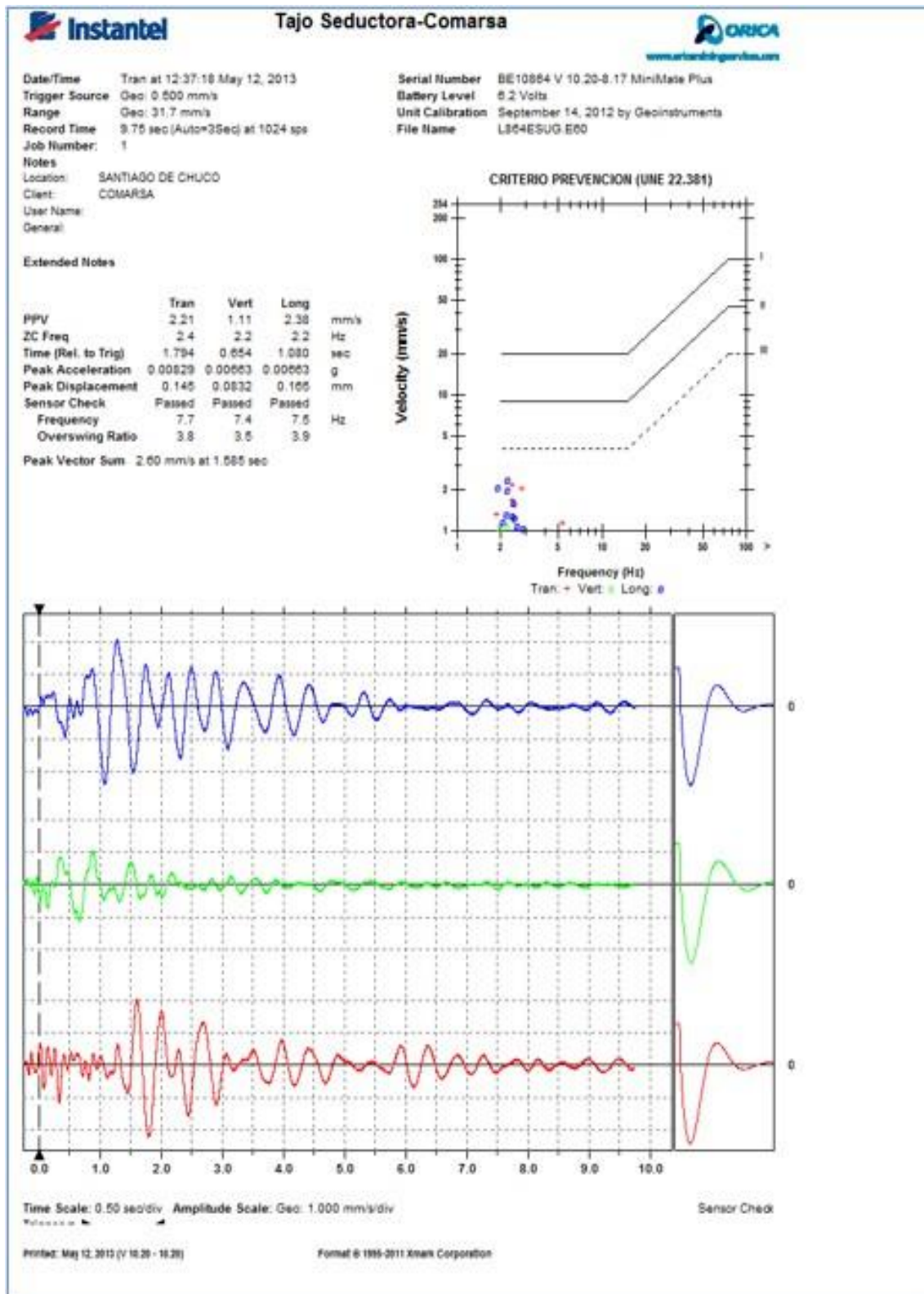
Registro de vibraciones disparo 3 Taja Clarita:



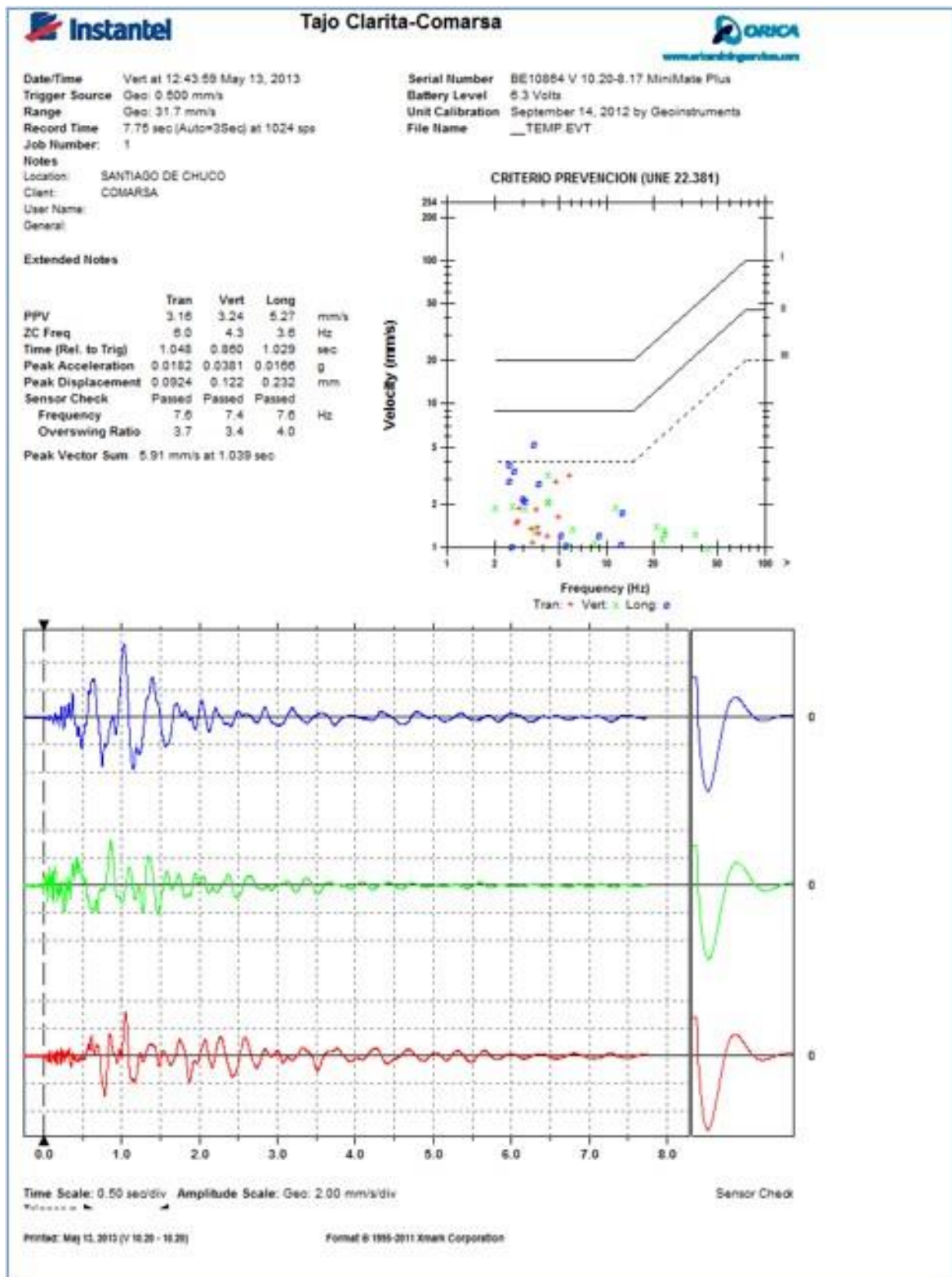
Registro de vibraciones disparo 4 Taja Clarita:



Registro de vibraciones disparo 5 Taja Seductora:



Registro de vibraciones disparo 6 Taja Clarita:



Registro de vibraciones disparo 7 Taja Clarita:

