

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**APLICACIÓN DE EMULSIÓN GASIFICADA (SAN-G)
Y SU FACTIBILIDAD EN EL RENDIMIENTO DE
COLUMNA EXPLOSIVA DE LA COMPAÑÍA
MINERA “LA ZANJA” CAJAMARCA 2014**

TESIS

Presentada por:

Bach. Edgar Marcos Mamani Almanza

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

TACNA – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL "JORGE BASADRE GROHMANN" - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

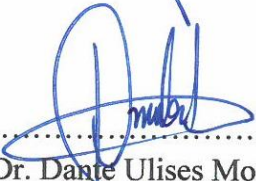
**APLICACIÓN DE EMULSIÓN GASIFICADA (SAN-G)
Y SU FACTIBILIDAD EN EL RENDIMIENTO DE
COLUMNA EXPLOSIVA DE LA COMPAÑÍA
MINERA "LA ZANJA" CAJAMARCA 2014**

Tesis sustentada y aprobada el 12 de diciembre del 2017, estando integrando el
Jurado Calificador por:

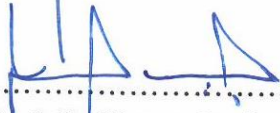
PRESIDENTE


.....
Dr. Julio Miguel Fernández Prado

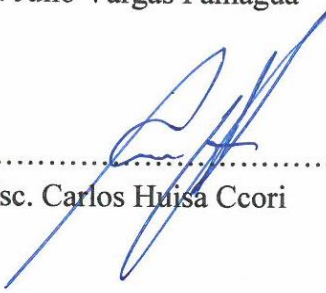
1er. MIEMBRO
(SECRETARIO)


.....
Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

2do. MIEMBRO
(VOCAL)


.....
Dr. Julio Vargas Paniagua

ASESOR


.....
Msc. Carlos Huisa Ccori

DEDICATORIA

*A mis queridos padres Teresa y David,
quienes con su esfuerzo y dedicación,
me motivaron a seguir adelante cada día.*

*A mi familia: Lucy, Mathías y Daniela
por ser mi inspiración y motivo diario.*

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento a minera La Zanja por ofrecerme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

Asimismo al equipo de ingenieros del área de asistencia técnica y operaciones de Famesa explosivos.

A la Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, docentes y compañeros.

Al ingeniero Carlos Huisa, por los consejos y guía durante la realización de este trabajo.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	xv
INTRODUCCIÓN	01
 CAPÍTULO I	
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	03
1.1. Descripción del problema.	03
1.2. Formulación del problema.	04
1.2.1. Problema general.	04
1.2.2. Problemas específicos.	04
1.3. Objetivos.	05
1.3.1. Objetivo general.	05
1.3.2. Objetivos específicos.	05
1.4. Justificación de la investigación.	06
1.5. Hipótesis.	07
1.6. Variables de la investigación.	08
1.6.1. Variable independiente.	08

1.6.2. Variable dependiente.	09
1.7. Limitaciones.	09

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE INVESTIGACIÓN	11
2.1. Antecedentes.	11
2.1.1. Ubicación y accesibilidad.	12
2.1.2. Fisiografía.	13
2.1.3. Hidrología.	14
2.1.4. Geología.	17
2.1.5. Geotecnia.	30
2.2. Bases teóricas de investigación.	39
2.2.1. Emulsión gasificada SAN-G.	38
2.2.2. Agentes de explosivos.	50

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN	55
3.1. Tipo de investigación.	55
3.2. Diseño de investigación.	55
3.3. Nivel de investigación.	56
3.4. Método de investigación.	57

3.5. Procedimientos de desarrollo.	60
3.5.1. Línea base de actividades de perforación y voladura.	61
3.6. El proceso de voladura - agente de voladura SAN-G.	63
3.6.1. Agente de voladura.	64

CAPÍTULO IV

PRUEBAS DE EMULSIÓN GASIFICADA SAN-G MINA LA ZANJA

4.1. Trabajo de Campo.	66
4.1.1. Calibración del camión fábrica.	67
4.1.2. Carguío de taladros.	68
4.1.3. Densidad de la mezcla.	68
4.1.4. Stemming.	69
4.2. Desarrollo de las pruebas.	69
4.2.1. Ejecución en el campo y análisis de resultados.	70
4.2.2. Monitoreo de la velocidad de detonación.	72
4.2.3. Velocidad de detonación SAN-G.	73
4.2.4. Monitoreo de VOD HA 60/40.	75
4.2.5. Monitoreo de densidades de explosivos.	77
4.2.6. Monitoreo de vibraciones.	80
4.3. Análisis operativo y técnico.	82
4.4. Análisis granulométrico.	88

4.4.1. Proceso y foto análisis de fragmentación teoría.	89
4.5. Análisis de resultados parámetros y consumo de explosivos.	98
4.6. Análisis de factores de potencia y evaluación económica.	99
4.7. Cálculo de parámetros de diseño y análisis de costos por cambio de explosivos.	104
4.8. Calculo ahorro anual costo de voladura con el uso de SAN-G.	115
4.9. Análisis del ahorro uso de SAN-G proyectado.	115

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis y verificación de hipótesis.	120
--	-----

CONCLUSIONES	127
---------------------	------------

RECOMENDACIONES	128
------------------------	------------

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
-----------------------------------	------------

ANEXOS	131
---------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

• Tabla 1. Resumen propiedad materiales tajo San Pedro Sur.	34
• Tabla 2. Resumen características geotécnicas zona 4.	36
• Tabla 3. Resumen características geotécnicas zona 6.	37
• Tabla 4. Resumen características geotécnicas zona 7.	38
• Tabla 5. Parámetros de perforación y voladura zona norte, Junio 2014.	61
• Tabla 6. Parámetros de perforación y voladura zona norte utilizando SAN-G.	71
• Tabla 7. Resumen de la velocidad de detonación.	73
• Tabla 8. Resumen de velocidad de detonación HA60/40.	75
• Tabla 9. Tabla resumen de densidad final SAN-G a. temperatura y % N-20 en el PLC de camión fábrica.	78
• Tabla 10. Registro de densidades.	79
• Tabla 11. Monitoreo de vibraciones explosivo SAN-G.	80
• Tabla 12. Monitoreo de vibraciones disparos SAN-G.	81
• Tabla 13. Análisis de campo cercano.	82
• Tabla 14. Análisis de campo cercano taladros de producción.	83
• Tabla 15. Determinación del módulo de Hoek y Diederich.	85
• Tabla 16. Estimación en el campo de la resistencia. compresiva – Uniaxial de la roca intacta.	85

• Tabla 17. Criterio de daño según Cameron Mckenzie.	86
• Tabla 18. Resultados de velocidad de partículas.	87
• Tabla 19. Resumen de análisis de fotografías tomadas inmediatas a la voladura.	89
• Tabla 20. Análisis de fotografías tomadas en la remoción del material volado.	89
• Tabla 21. Análisis de fotografías tomadas inmediatas a la Voladura.	90
• Tabla 22. Análisis de fotografías tomadas en la remoción del material volado.	90
• Tabla 23. Consumo de SAN-G y HA ANFO y costo por disparo.	100
• Tabla 24. Consumo de SAN-G y HA ANFO y costo por disparo.	101
• Tabla 25. Calculo de parámetros de diseño de perforación en desmonte.	104
• Tabla 26. Calculo de parámetros de diseño de perforación en mineral.	105
• Tabla 27. Calculo de costos por taladro de HA 46 vs SAN-G en desmonte.	106
• Tabla 28. Calculo de costos por taladro de HA 55 vs SAN-G en mineral seco.	109
• Tabla 29. Calculo de costos por taladro de HA 64 vs SAN-G en mineral con presencia de agua.	112
• Tabla 30. Resumen de resultados obtenidos.	115
• Tabla 31. Beneficios con el uso de explosivos SAN-G.	119

ÍNDICE DE FIGURAS

• Figura 1. Ubicación geográfica de minera La Zanja.	16
• Figura 2. Vista en planta de la geología regional.	18
• Figura 3. Vista NS del tajo San Pedro Sur.	20
• Figura 4. Brecha polimíctica, clastos subredondeados, zona norte tajo San Pedro Sur.	20
• Figura 5. Brecha hidrotermal, clasto-soportante, con fuerte carga de óxidos, zona norte tajo San Pedro Sur.	21
• Figura 6. Tufo cristalolítico, textura ignimbrítica mostrando dirección de flujo, alteración argílica avanzada, con 2 % de pirita.	22
• Figura 7. Tufo de cristales, alteración hidrotermal, sílice moderada con trazas de pirita.	22
• Figura 8. Brecha monomíctica matriz soportante con clastos Silicificados.	22
• Figura 9. Columna estratigráfica	25
• Figura 10. Vista cuerpos principales en el tajo San Pedro Sur.	28
• Figura 11. Bx. polímicítica, matriz soportante, matriz argilizada.	29
• Figura 12. Tufo cristalolítico, alteración argílico avanz Ox.Fe.	29

• Figura 13. Muestra del sensibilizador SANig-N20.	40
• Figura 14. Muestra del sensibilizador N20	41
• Figura 15. Muestra la medición de densidades minera La Zanja	42
• Figura 16. Muestra el proceso SAN gasificado en el camión fábrica (Famesa Explosivos S.A.C)	44
• Figura 17. Muestra el proceso de esponjamiento y disminución de la densidad (Famesa Explosivos S.A.C) a los 5,10 y 15 min.	45
• Figura 18. Curva de gasificación con 1,0% de N20 en diámetro de 6 1/8 de Pulgada a 25 °C	45
• Figura 19. Muestra la imagen de un camión fábrica, fabricando SAN-G	46
• Figura 20. Muestra la imagen del abastecimiento al camión del N20 y el almacén de los cilindros del nitrito	47
• Figura 21. Muestra una imagen donde se utilizó SAN-G con una densidad de 1,05 g/cm ³ en una arenisca	48
• Figura 22. Plan de trabajo	59
• Figura 23. Parámetros de diseño del tajo San Pedro Sur	60
• Figura 24. Plan de perforación Junio, 2014	62
• Figura 25. Proyectos 3384-33, Junio 2014, muestra los tres tipos de taladros en el diseño.	62
• Figura 26. Rampas de acarreo de mineral.	64

• Figura 27. Ejecución de primado y carguío.	70
• Figura 28. Control de densidades.	71
• Figura 29. Pruebas de laboratorio: macrohees.	72
• Figura 30. Densidad Vs VOD.	74
• Figura 31. VOD SAN-G.	74
• Figura 32. VOD HA-64.	76
• Figura 33. Comparativo de VOD promedio.	76
• Figura 34. Comparativo de temperatura de SAN-G vs %20.	78
• Figura 35. Monitoreo de vibraciones.	81
• Figura 36. Ley de atenuación - campo cercano.	83
• Figura 37. Ley de atenuación - análisis campo cercano.	84
• Figura 38. Proceso de análisis mediante el software Wipfrag.	88
• Figura 39. Proceso de voladura y remoción de material volado.	91
• Figura 40. Material disparado y análisis de material.	91
• Figura 41. Resultado de análisis de fragmentación – material disparado.	92
• Figura 42. Nivel de piso.	93
• Figura 43. Diseño de malla – proyecto N°15.	93
• Figura 44. Análisis granulométrico.	94
• Figura 45. Monitoreo e vibraciones – post disparo.	95
• Figura 46. Fragmentación – post disparo I.	96

• Figura 47. Fragmentación – post disparo II.	97
• Figura 48. Nuevo diseño de carga para taladros de producción.	97
• Figura 49. Costo comparativo por tonelada SAN-G-HA-Jun 2 014.	99
• Figura 50. Costo comparativo por tonelada SAN-G-HA-Julio 2 014.	102
• Figura 51. Costo comparativo por tonelada SAN-G-HA-Julio 2 014.	103
• Figura 52. Análisis de resumen de cálculo de parámetros y costos de voladura por uso SAN-G.	116
• Figura 53. Reducción de factor de potencia (KG/Tn) uso San-G.	117
• Figura 54. Reducción de precios en el diseño actual (US\$/Tn).	117
• Figura 55. Ahorro proyectado por el consumo de SAN-G (US\$).	118

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO Nº 01: Zonificación del tajo de la minera “La Zanja”	132
- ANEXO Nº 02: Matriz de consistencia	133
- ANEXO Nº 03: Fichas técnicas de SAN-G y solución N- 20	134
- ANEXO Nº 04: Ficha técnica - Solución N-20	136
- ANEXO Nº 05: Planta de proceso mina “La Zanja”	137
- Glosario de términos	142

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo analizar la optimización del uso de la emulsión matriz, componente principal del ANFO pesado que se usa comúnmente en el proceso de voladura en minera La Zanja. Este nuevo producto es una emulsión gasificada SAN-G de mejor calidad y mayor costo en comparación con la emulsión matriz que se utiliza actualmente. El parámetro que se midió antes de la voladura fue la densidad, un aspecto crítico para determinar los costos y la calidad del explosivo. La aplicación de estos cambios ha permitido mejorar la factibilidad de columna explosiva con el cambio de explosivo por SAN-G, porque permite un ahorro en explosivo en un promedio de 0,05 \$/t, lo que al mes significa la suma de 99 113 \$/mes y al año se estima que se podría alcanzar un ahorro de hasta 1 189 355 \$/año. Alcanzar tal resultado de fragmentación puede generar un incremento porcentual en la recuperación del Au.

PALABRAS CLAVE: VOLADURA / EMULSIÓN GASIFICADA SAN-G / ANFO / DID-RATE / RENDIMIENTO.

INTRODUCCIÓN

La unidad minera La Zanja de la compañía de minas Buenaventura (53,06 %) y Newmont (46,94 %) a tajo abierto dedicado a la producción de oro a partir de un cuerpo mineralizado de óxidos. El proceso de lixiviación se desarrolla sin un chancado previo del material volado, por ello las operaciones de perforación y voladura encargadas de romper mineral, deben ser estudiadas y optimizadas para entregar un material roto con una fragmentación adecuada que permita una mejor recuperación en las pilas de lixiviación.

En minera La Zanja, se realiza la extracción de mineral minimizando los costos operativos y maximizando la producción. En este sentido, actualmente en el área de perforación y voladura se viene realizando pruebas con diferentes mezclas explosivas, para compararlas con el (Heavy ANFO) que actualmente se vienen usando. Estudios realizados tanto en laboratorio como en otras operaciones mineras, han demostrado que la emulsión gasificada SAN-G (como componente del ANFO pesado) tiene ventajas frente a la emulsión matriz (no gasificada), la cual se utiliza actualmente en la operación.

Para una mejor comprensión el trabajo de investigación se ha organizado en cuatro capítulos: El capítulo I está referido al problema de investigación, formulación del problema, objetivos, justificación, hipótesis y variables; además se señalan las limitaciones de la investigación.

En el capítulo II se desarrolla el marco teórico de la investigación, donde se exponen los antecedentes, las generalidades de la minería como ubicación, geología, geotecnia, bases teóricas de la investigación, y aspectos teóricos de la investigación.

El capítulo III, contiene el marco metodológico de la investigación donde se describe el tipo, diseño, nivel, método, de investigación, procedimientos de desarrollo en la minera.

El capítulo IV, contiene los resultados de la investigación, se inicia con la descripción del trabajo de campo, se presenta el desarrollo de las pruebas, análisis granulométrico, análisis de la experiencia, análisis económico de ahorro por cambio de explosivo.

En el capítulo V, se describe el análisis y discusión de resultados, y el análisis de trabajo de campo.

Finalmente, se da a conocer las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La voladura al ser una de las principales operaciones en la actividad utiliza diferentes diseños, costos y materiales estos basados en diversos modelos planteados, pero hoy en día se busca diversos métodos y formas para la fragmentación de la roca.

En minera La Zanja en la zona de Pulan, la fragmentación de la roca, hoy en día genera elevados costos en perforación y voladura, así como el incremento de precios de las materias primas como el petróleo, nos obliga a que sea un punto crítico del ciclo minado. Asimismo, el incremento de los costos en minería y la caída de precio de los minerales metálicos nos exigen aprovechar al máximo los recursos con los que contamos.

En este sentido, minera La Zanja en el proceso de innovación, eficiencia y competitividad, se propone implementar la utilización de la emulsión gasificada SAN-G tomando en cuenta más parámetros para mejorar el proceso de voladura, y lograr mejores resultados tanto operativos como económicos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la factibilidad que puede aportar la utilización de la emulsión gasificada SAN-G en el rendimiento de columna explosiva de la minera La Zanja 2 014?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo disminuir el costo de explosivo por metro lineal y por taladro usando emulsión gasificada SAN-G, sin afectar de manera negativa la productividad de los equipos de minado?

2. ¿Cómo alcanzar la fragmentación mejorada usando emulsión gasificada SAN-G?
3. ¿Cuáles son los puntos críticos y establecer procedimientos y controles de calidad, para asegurar el desempeño del nuevo explosivo a lo largo de su implementación y posterior aplicación?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la optimización del uso la emulsión gasificada SAN-G en comparación con el heavy ANFO en el rendimiento de columna explosiva en minera la Zanja 2 014.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Disminuir el costo de explosivo por metro lineal y por taladro, usando emulsión gasificada SAN-G sin afectar de manera negativa la productividad de los equipos de minado.

2. Optimizar la fragmentación actual usando emulsión gasificada SAN-G.
3. Identificar puntos críticos y establecer procedimientos y controles de calidad para asegurar el desempeño del nuevo explosivo a lo largo de su implementación y posterior aplicación.

1.4. Justificación de la investigación

A través de la investigación minuciosa podremos conocer las buenas y malas prácticas en la minera La Zanja, a partir de ello mejorar la situación actual, por ello nuestra investigación se justifica de la siguiente manera:

Justificación operativa, la investigación se realizará con la modificación gradual de los parámetros de diseño de carga, a fin de lograr plasmar un diseño adecuado para los proyectos de voladura y que alcancen los objetivos de la operación.

Justificación económica, pues el proceso de la voladura constituye la única actividad unitaria en el proceso de conminución,

para esta operación a cielo abierto, y siendo la energía química del explosivo la más barata para lograr la reducción de la fragmentación en los proyectos de voladura, para la obtención de mejores índices de recuperaciones del mineral.

Asimismo, el presente estudio permitirá determinar las ventajas que presenta la utilización de emulsión gasificada SAN-G, frente al ANFO pesado a base de emulsión matriz, que es usado como explosivo en minera La Zanja. Una de las operaciones en minería es la voladura, que es la forma en que se apertura labores de acceso hacia un yacimiento económico, para posteriormente proceder a explotarlas.

1.5. Hipótesis

La factibilidad en la utilización de la emulsión Gasificada SAN - G para mejorar el rendimiento de la columna, permitirá obtener mejores resultados que la emulsión matriz, la cual se utiliza actualmente para la fabricación de ANFO pesado añadiendo un valor agregado a la operación en cuando a reducción de costos en explosivo, ventajas operativas, de seguridad o cuidado

medioambiental.

1.6. Variables de la investigación

Para diseñar una malla de perforación y voladura se tiene variables dependientes e independientes que se determina de los parámetros de carga, explosivo y roca.

1.6.1. Variable independiente

X = Aplicación de emulsión gasificada SAN-G

Indicadores:

X1= Monitoreo de densidades.

X2= Monitoreo de velocidad de detonación.

X3= Monitoreo de niveles de vibración.

X4= Análisis granulométrico.

X5= Estadísticas.

X6= Parámetros y consumo de explosivos.

1.6.2. Variable Dependiente

Y= Factibilidad en el rendimiento explosivo

Indicadores

Y1 = Ahorro por taladro.

X2= Factores de potencia.

Y3 = Costo por metro lineal.

Y4 = Costo por taladro.

Y5 = Ahorro costo explosivo.

Y6= Proyección de ahorro.

Y7= Costo de minado

1.7. Limitaciones

El presente trabajo de investigación se basa en la aplicación de emulsión gasificada SAN-G para optimizar los costos de explosivo en la minería La Zanja, por lo que la investigación se limita por los siguientes aspectos:

- Según la investigación realizada en la minería La Zanja, hasta la actualidad no existen trabajos, documentos empíricos o tratados de otras empresas proveedoras de explosivos como Famesa relacionados con el tema de pre factibilidad implementando un explosivo alternativo; por lo tanto, no se puede hacer comparaciones profundas con situaciones detectadas con anterioridad, de manera que los resultados tendrán validez solo para el ámbito de estudio.
- Otra dificultad es netamente técnica, puesto que para su análisis en cuanto a características propias en la perforación a tajo abierto es necesario realizar una experimentación insitu.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE INVESTIGACIÓN

2.1. Antecedentes

La minera La Zanja SRL está conformada por: Cía. de minas Buenaventura (53,06 %) y Newmont (46,94 %).

Las exploraciones se iniciaron en 1991. Actualmente se cuenta con dos yacimientos de oro: San Pedro Sur (400 K Oz Au) y Pampa Verde (309 K Oz Au). La producción promedio anual será de 100 000 Oz Au y 450 000 Oz Ag a partir del año 2011.

El inicio de la construcción del proyecto fue autorizado el 14 de junio del 2009. A la fecha se han invertido 65 000 000 \$ en la construcción. El 5 de agosto del 2010 se otorgó la resolución de funcionamiento de la concesión de beneficio. El 7 de setiembre del 2010, se refinó la primera barra de doré. Este año se espera producir 36 000 Oz Au y 35 000 Oz Ag.

2.1.1. Ubicación y accesibilidad

Minera La Zanja se encuentra ubicada en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz de Succhabamba en la región suroeste del departamento de Cajamarca.

Se ubica alrededor de las siguientes coordenadas UTM:

- Norte: 9 245 500
- Este: 732 250

El área de las operaciones de minera La Zanja comprende las zonas altas del distrito de Pulan, a una elevación que varía entre los 2 800 y 3 620 m.s.n.m y en los límites con los distritos de Catache de la misma provincia de Santa Cruz y el distrito de Catilluc de la provincia de San Miguel. (ver Figura 1)

Minera La Zanja es accesible por dos rutas, a través de:

Lima –Cajamarca – El empalme – Minera La Zanja	952 Km
Lima – Cajamarca – Chilete – San Miguel – Minera La Zanja	939 Km

2.1.2. Fisiografía

2.1.2.1. Relieve

El área de la mina se ubica en los andes centrales, los que se caracterizan por la presencia de numerosas quebradas cuyas laderas presentan gradientes pronunciadas y las altas planicies, situados a más de 3 500 m de altitud y que han recibido el nombre de la región de la puna o altiplano (INGEMMET, 1 987).

2.1.2.2. Clima

La zona presenta una temperatura promedio mensual que fluctúa entre 7 – 8,2 °C. El periodo de menor precipitación ocurre en los meses de mayo a septiembre y el de mayor precipitación se da entre los meses de octubre y abril.

2.1.3. Hidrología

El sistema de drenaje superficial del área de estudio se puede subdividir en dos sistemas de microcuencas principales:

- La microcuenca de la quebrada el Cedro drena hacia el norte e incluye las quebradas Bancuyoc, la Cuchilla, la Playa, la Mina, Bramadero, Cocán y el Hornazo.
- La microcuenca del río Pisit que también drena hacia el norte e incluye las quebradas San Lorenzo, del Panteón y Vizcachas

La quebrada el Cedro recibe posteriormente el nombre de río Pulán, el cual se une con el río Pisit para constituir el río Cañad tributario del río Chancay. El río Chancay aporta aguas al río Reque y este vierte finalmente sus aguas en el océano pacífico.

En el área de la mina, los cursos de agua son permanentes, pero sus caudales son mínimos si se comparan con los caudales obtenidos aguas debajo de Pulán y Pisit.

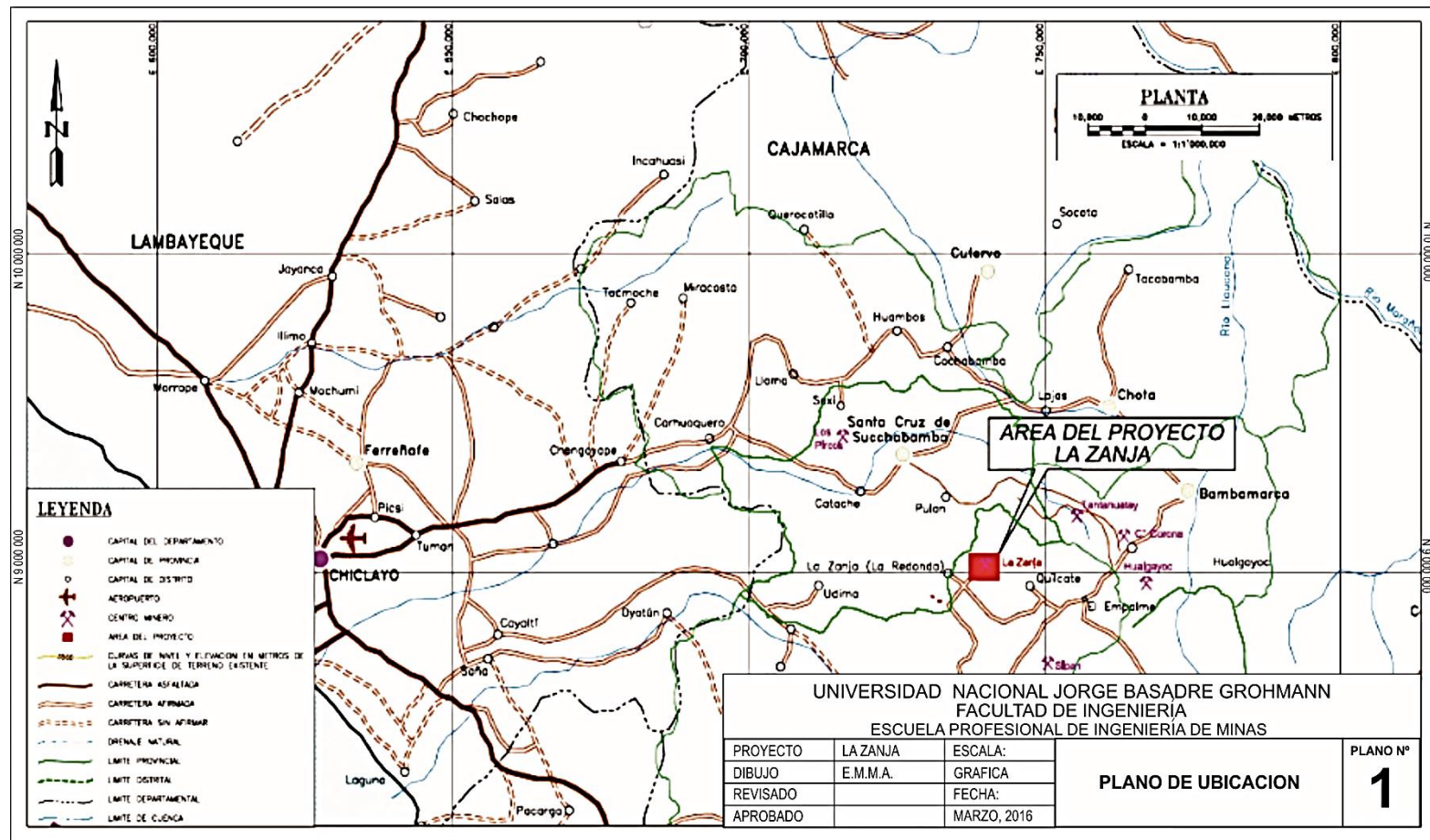


Figura 1. Plano de ubicación y acceso minera La Zanja
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

2.1.4. Geología

2.1.4.1. Geología regional

El depósito de la Zanja está ubicado dentro de la faja volcánica cretácica-terciaria de los andes del norte del Perú. En las proximidades del depósito las principales rocas son andesitas, secuencias fragmentales piroclásticas y brechas; las edades geológicas de estas rocas varían desde el eoceno superior al mioceno superior. (Ver Figura 2)

La alteración hidrotermal aparece relacionada a yacimientos de oro diseminados del tipo epitermal de alta sulfuración.

Entre los principales tipos de alteración tenemos silicificación masiva y porosa, cuarzo-alunita (argílica avanzada) y argílica.

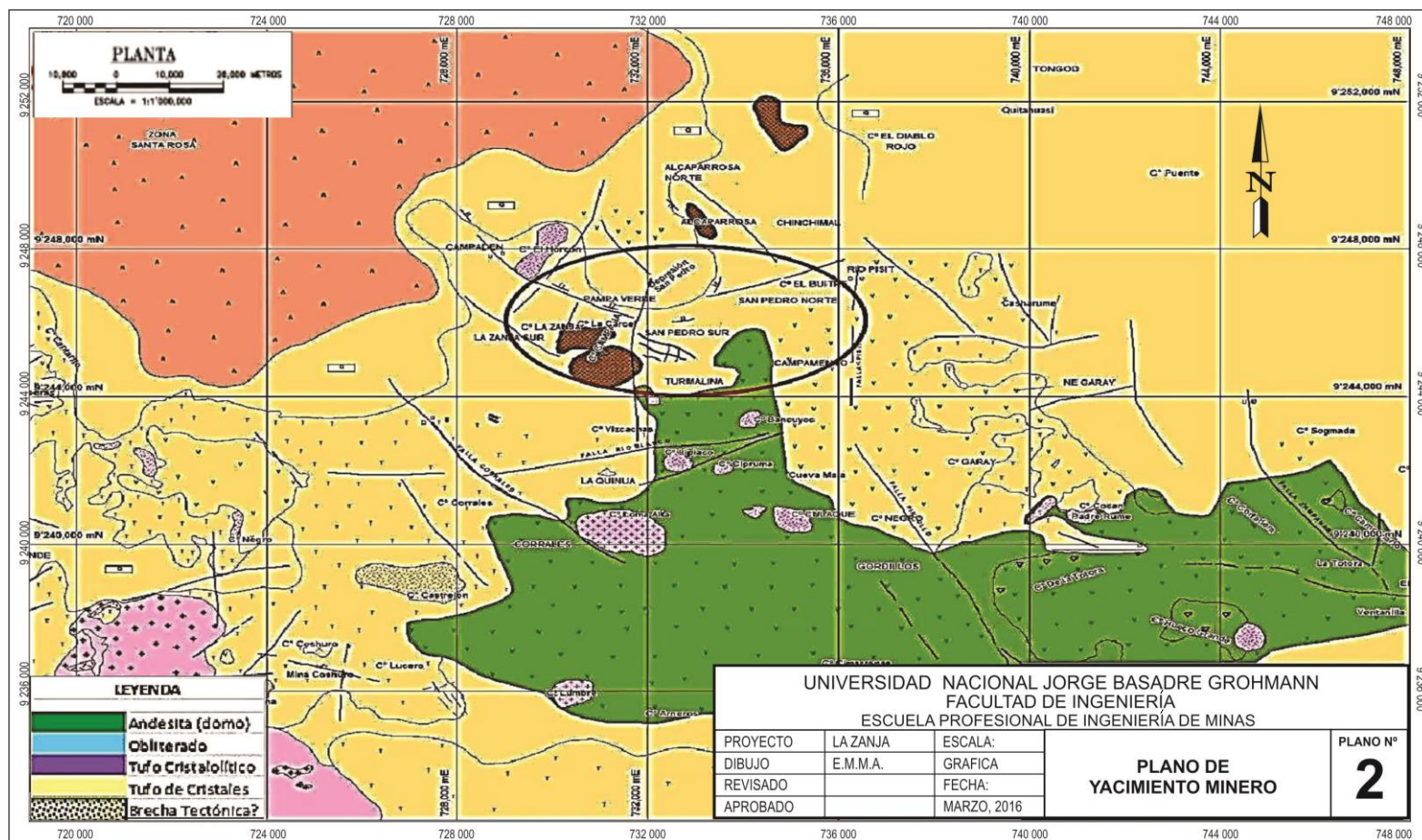


Figura 2. Yacimiento minero La Zanja
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

2.1.4.2. Geología local

a) Sector norte

La geología actual del tajo está constituida en gran parte por roca piroclástica: tufo cristalolítico con facies ignimbrítica que entra en contacto hacia el noroeste con tufo de cristales, asociado a las alteraciones: cuarzo alunita y argílica, hacia la cresta norte. Estas rocas se van extendiendo hacia el este y sur del tajo conforme se va profundizando, así mismo están cortadas por una brecha tectónica (matriz argilizada, polímicítica, matriz soportante) que atraviesa el tajo (sector norte), con dirección EW. (ver Figura 3)

En el sector norte también se puede evidenciar la presencia de brechas hidrotermales con fuerte carga de óxidos (jarosita, hematita), las que actualmente están aportando leyes altas, con las que se está realizando el blending del minado. (Ver figura 4)

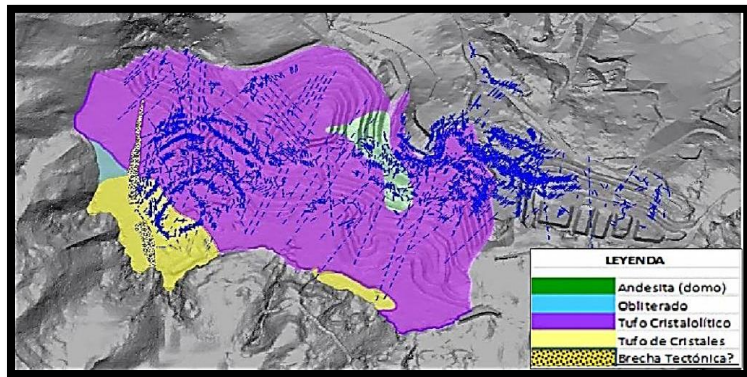


Figura 3. Vista NS del tajo San Pedro Sur
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014



Figura 4. Brecha polimíctica, clastos subredondeados, zona norte tajo San Pedro Sur
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

b) Sector sur

En éste sector podemos evidenciar actualmente que en la parte sur del banco 3 390 presenta tufo de cristales (roca está asociada a las alteraciones de sílice moderada y cuarzo alunita con presencia de sulfuros: pirita y enargita) que entra en contacto con

el tufo cristalolítico, con líticos de mm hacia algunos cm y en ciertos sectores con textura eutaxítica (extremo sur este). Asimismo se puede identificar brechas hidrotermales que van cortando a los tufos de cristales y tufos líticos. (Ver figura 5 y figura 6)

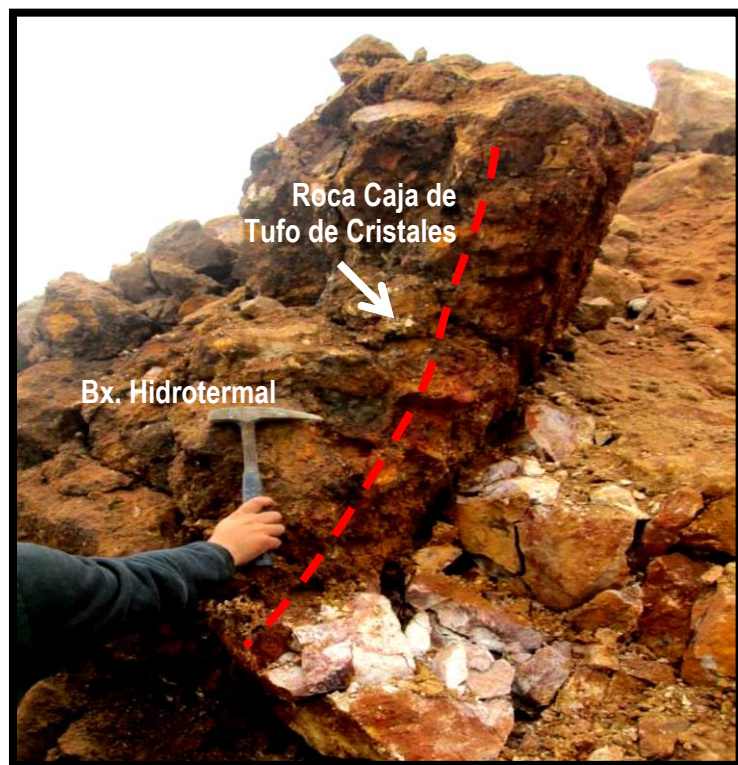


Figura 5. Brecha hidrotermal, clasto-soportante, con fuerte carga de óxidos (goethita, hematita y jarosita), zona norte tajo San Pedro Sur.

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

Asimismo, se puede identificar brechas hidrotermales que van cortando a los tufos de cristales y tufos líticos.



Figura 6. Tufo cristalolítico, textura ignimbrítica mostrando dirección de flujo, alteración argílica avanzada, con 2 % de pirita.

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014



Figura 7. Tufo de cristales, alteración hidrotermal, sílice moderada con trazas de pirita
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014



Figura 8. Brecha monomítica matriz soportante con clastos silicificados
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

2.1.4.3. Estratigrafía

Las principales unidades estratigráficas que afloran en el área de Minera La Zanja son:

a) Formación Ilima

Esta secuencia volcánica terciaria yace de manera discordante sobre las rocas cretácicas, y consta de una secuencia potente de andesitas ígneas interestratificadas con tobas riolíticas a dacíticas. Las tobas conforman la roca huésped para los depósitos en San Pedro Sur y Pampa Verde, y afloran a lo largo de una gran área hacia el suroeste del depósito.

La unidad andesítica llena la caldera hacia el norte y cubre grandes áreas hacia el este de los depósitos

b) Formación porculla

Esta secuencia volcánica terciaria consta de una secuencia de tobas dacíticas a riolíticas y lavas, con delgadas inter estratificaciones de andesitas.

Esta secuencia yace sobre la formación llama hacia el sur y el este del depósito de San Pedro Sur, formando una meseta que conformarán la base de las instalaciones propuestas.

c) Domo riolítico

Esta riolita porfírica aflora en el cerro Alpacarroza, aproximadamente unos 4 km al noreste de San Pedro Sur, y se cree que es uno de los numerosos depósitos de intrusiones de roca ígnea subvolcánica en el área. Se la reconoce por las texturas de flujo y las brechas a lo largo de sus contactos.

d) Volcánico huambos

Esta unidad volcánica terciaria yace de manera discordante sobre las rocas volcánicas anteriores y los sedimentos cretácicos. Consta de tobas y brechas dacíticas y riolíticas. La unidad aflora a lo largo de una gran área hacia el noreste del depósito.

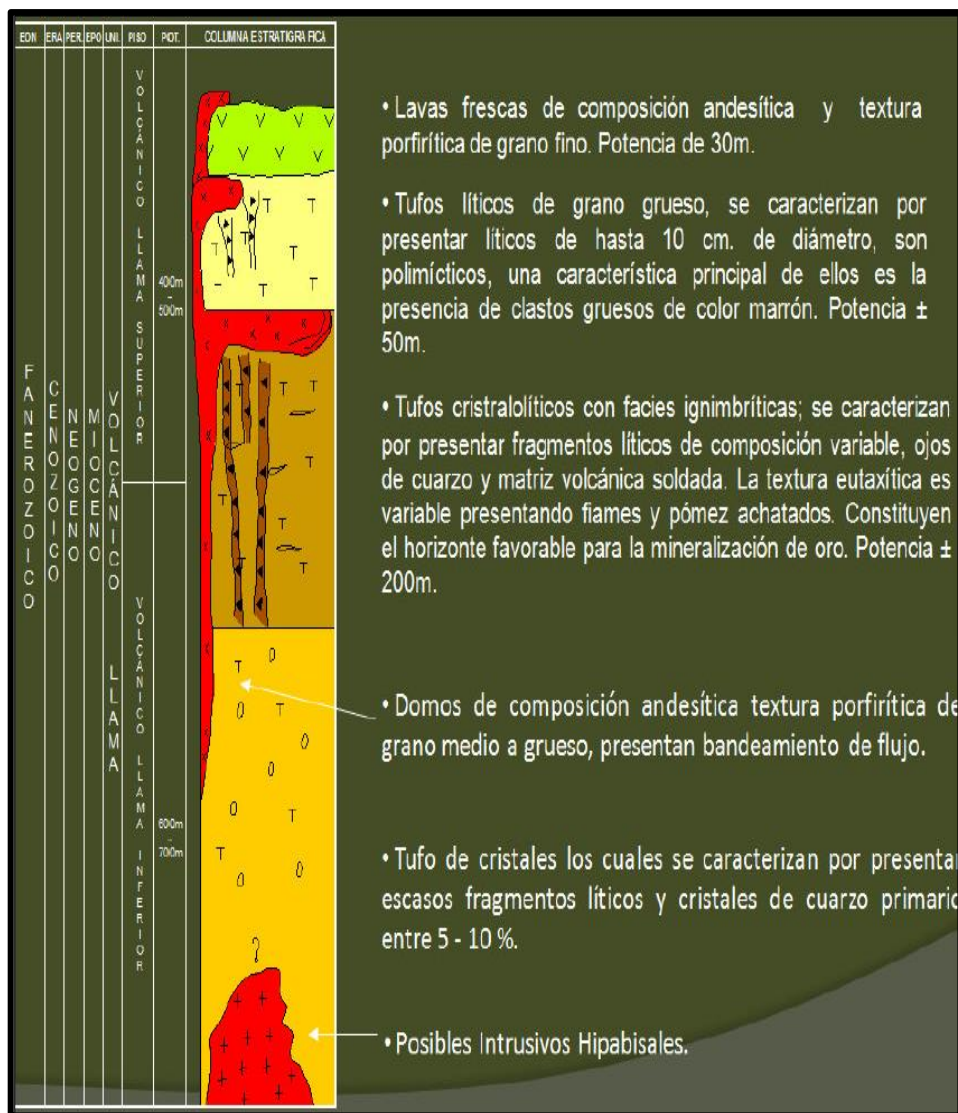


Figura 9. Columna estratigráfica

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

2.1.4.4. Geología estructural

La población de las fallas muestra un dominio estructural cuyas tendencias son N65- 80E, N60 - 75°W, EW y NS; ello es evidencia que las estructuras constituyen uno de los controles principales en la formación de este yacimiento.

2.1.4.5. Geología económica

a) Mineralización

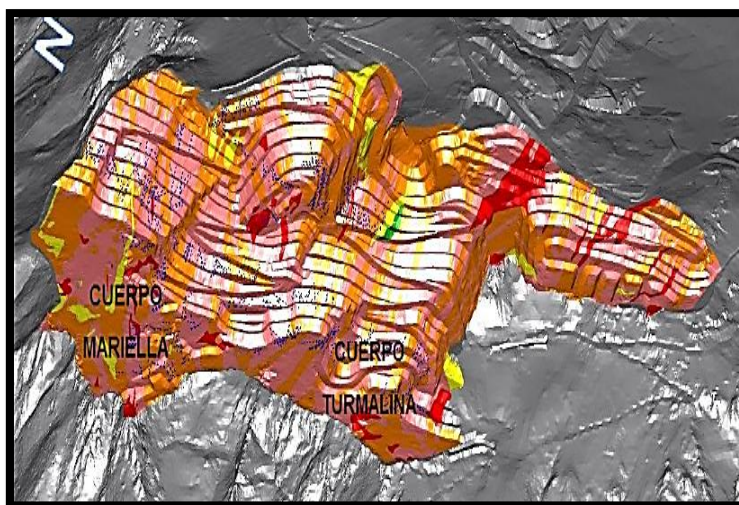
La Mineralización que muestran estos bancos está conformada en un 60 % de óxidos fuertes a moderados, 10 % de zonas mixtas de transición, y 30 % de sulfuros moderados a fuertes. El sector norte, es el banco en el cual tenemos aún mayor concentración de óxidos y es el que nos está proporcionando el mayor tonelaje de producción para el cumplimiento del plan; sin embargo es importante mencionar que conforme hemos ido profundizando se

han encontrado dos principales cuerpos de material argílico asociados a una mineralización de sulfuros. En cuanto al sector sur, tenemos que actualmente hay una fuerte restricción de óxidos, puesto que gran porcentaje de la mineralización está conformada por sulfuros que ha ido en incremento a profundidad, siendo importante mencionar que algunas zonas van a ser esterilizadas.

b) Alteración

En el tajo San Pedro Sur en general, aún sigue predominando la alteración sílice moderada; sin embargo conforme vamos profundizando en el sector norte, vemos que van en incremento las alteraciones cuarzo alunita y la argílica (Extremo nor-este, alteración argílica avanzada, asociada a un material de coluvio). La alteración argílica se presenta a modo de dos islas, con arcillas, material con una tonalidad grisácea, típico material de desmonte, además presenta leyes que están muy por debajo del cutt off.

Mientras que en el sector sur, predomina la alteración sílice moderada intercalada con algunos tramos de argílica avanzada; y hacia el extremo sur este, sílice fuerte; todas ellas asociadas en su mayoría a una mineralización de sulfuros (pirita y enargita), que se ha incrementado a profundidad, restringiendo fuertemente al óxido, el cual en algunos casos es muy difícil de minar por razones de costo.



*Figura 10. Vista de cuerpos principales en el tajo San Pedro Sur
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014*



Figura 11. Bx. polímictrica, matriz soportante, matriz argilizada
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

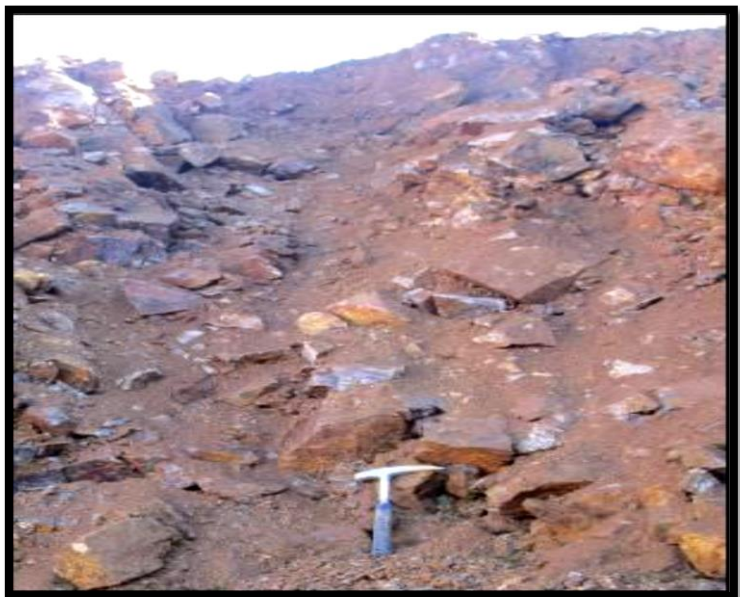


Figura 12. Tufo cristalolítico, alteración argílica avanzada Ox.Fe.
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

2.1.5. Geotecnia

2.1.5.1. Unidades geotécnicas

El material que se extrae de las labores propias del tajo San Pedro Sur corresponden a 2 unidades geotécnicas: depósito coluvial (unidad geotécnica I) y basamento rocoso (unidad geotécnica II).

a) Depósito coluvial (unidad geotécnica I)

Unidad geotécnica conformada por acumulaciones de material fragmentado al pie de las laderas o taludes naturales alrededor del tajo, cuya formación es producida por acción de la gravedad, compuestas por gravas arcillo limosas y arenas limo arcillosas con gravas, de plasticidad baja a media, con compacidad medianamente densa a muy densa, en condición húmeda a muy húmeda y con presencia de bolonería y bloques aislados.

b) Basamento rocoso (unidad geotécnica II)

Esta unidad geotécnica por ser la más importante, predominante y de gran interés para este estudio se clasifica en cuatro sub-unidades teniendo en cuenta el grado de alteración.

1) Brecha hidrotermal

Conformada por roca triturada con una matriz mineralizada y cementada que sigue la dirección de la falla que predomina en la zona del tajo norte.

2) Tufo volcánico silicificado

Mineralización primaria asociada a varias generaciones de sílice: estructuras tectohidrotermales, canales de sílice masiva, a veces acompañada de algo de porosidad y vetillas de sílice gris cortando a las anteriores.

3) Tufo volcánico argilizado

La alteración argílica está asociada a flujos de domo. En la parte sur resalta una capa subaflorante, moderadamente erosionada; asimismo, existen crestones restringidos con presencia de goethita, hematita, limonita y jarosita, con orientación principal Noroeste-Sureste, las cuales sirven de alimentadores a la “capa” o manto erosionado.

La alteración argílica presenta el ensamble característico: cuarzo-illita-esmectita.

4) Tufo volcánico argílico avanzado

La alteración argílica avanzada se encuentra ampliamente distribuida en todo el área, se caracteriza por los ensambles cuarzo-alunita (caolinita) y cuarzo – dickita -alunita-caolinita.

5) Parámetros geotectónicos

➤ Tufo volcánico silicificado

Esta roca es la que presenta mejores características geomecánicas en el tajo. Los parámetros característicos son resistencia a la compresión no confinada (UCS) de 240 Mpa, un GSI de 55, índice de roca intacta de 13, una disturbancia D de 1 debido a que se explota mediante explosivos. La densidad húmeda adoptada para esta roca fue de 24 KN/m³.

➤ Tufo volcánico argilizado

Esta roca presenta características geomecánicas intermedias y es la que más abunda en el tajo. Los parámetros característicos son resistencia a la compresión no confinada (UCS) de 90 Mpa, un GSI de 45, índice de roca

intacta de 13, una disturbancia D de 1 debido a que se explota mediante explosivos.

La densidad húmeda adoptada para esta roca fue de 22 KN/m³.

➤ **Tufo volcánico argílico avanzado**

Esta roca presenta pobres características geomecánicas pero es la que menos se presenta en el tajo. Los parámetros característicos son resistencia a la compresión no confinada (UCS) de 15 Mpa, un GSI de 20, índice de roca intacta de 13, una disturbancia D de 1 debido a que se explota mediante explosivos. La densidad húmeda adoptada para esta roca fue de 19 KN/m³.

Tabla 1

Resumen de propiedad de los materiales tajo San Pedro Sur

Material	Y Total (kN/m ³)	Y Sat (kN/m ³)	GSI	UCS (Mpa)	mi	mb*	s*	a*
Tufo volcánico silicificado	24	24	55	240	13	0,52	0,0006	0,504
Tufo volcánico argilizado	22	23	45	90	13	0,25	0,0001	0,5081
Tufo volcánico argílico avanzado	19	20	20	15	13	0,042	0,0429	0,5437

Ytotal : Peso específico total del suelo
GSI: Índice geológico de resistencia
MI: Constante de roca

YSat : Peso específico saturado del suelo
UCS : Compresión no confinada
*: Parámetros obtenidos con un factor de disturbancia D=1

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

2.1.5.2. Zonificación geotécnica del tajo San Pedro Sur

El tajo San Pedro Sur se encuentra zonificado en 7 zonas geotécnicas, como se muestra en el anexo 01.

El presente trabajo se desarrolló principalmente tras el seguimiento de los disparos primarios en la zona 7, zona norte; la zona 6, zona intermedia y la zona 4, zona sur del tajo San Pedro Sur.

A) Condiciones geotécnicas zona 4 del tajo San Pedro Sur (Zona Sur)

En la tabla 2 se presenta las características geotécnicas para la zona 4.

Tabla 2

Resumen características geotécnicas para la zona 4.

Condiciones Geotécnicas Zona 4	
Geología	Principalmente roca silicificada y silicificada Condición: Grado de alteración ligera
Condición de estabilidad Estructural	Muy alta 23 Sistemas estructurales Espaciamiento: 40-150 mm, Persistencia: 0,5-1,0 mm,
Condición de las juntas	Apertura: 2 a 7 mm Superficies rugosas, juntas rellenadas por óxidos y arcillas moderadamente meteorizadas
RQD profundidad Resistencia promedio	Mayor al 50% y muy estable Muy dura (R5)
Condiciones de agua	Ligeramente húmeda
Calidad de la masa rocosa	Superficie: Buena, con RMR no mayor a 80 Profundidad: Buena, con RMR entre 60-80

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

B) Condiciones geotécnicas zona 6 del tajo San Pedro Sur (Zona intermedia)

En la Tabla 3 se presenta las características geotécnicas para la zona 6.

Tabla 3

Resumen características geotécnicas para la zona 6.

Condiciones geotécnicas Zona 6	
Geología	Principalmente roca silicificada y argílico avanzado Condición: Grado de alteración moderada
Condición de estabilidad Estructural	Buena
Condición de las juntas	06 Sistemas estructurales Espaciamiento: 60-120 mm, Persistencia: 0,4 - 0,8 mm, Apertura: 3 a 10 mm Superficies rugosas, juntas rellenadas por óxidos y arcillas levemente meteorizadas
RQD profundidad	Menor de 40% y estable
Resistencia promedio	Roca dura (R5)
Condiciones de agua	Ligeramente húmeda Superficie: Regular, Tipo B con RMR no mayor a 50
Calidad de la masa rocosa	Profundidad: Regular, con RMR entre 40-50

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

C) Condiciones geotécnicas zona 7 del tajo San Pedro Sur (Zona Norte)

En la tabla 4 se presenta las características geotécnicas para la zona 7.

Tabla 4
Resumen características geotécnicas para la zona 7

Condiciones Geotécnicas Zona 7	
Geología	Argílico avanzado, roca silicificada y en menor proporción argílico, la parte intermedia está formada por roca brechada Condición: Muy alteradas, erosionadas y agrietadas.
Condición de estabilidad Estructural	Crítico
Condición de las juntas	30 Sistemas estructurales Espaciamiento: 5-20 mm, Persistencia: 0,5 - 2,0 m, Apertura: 10 a 15 mm Superficies ligeramente rugosas, rellenos de arcillas, óxidos y otros sin relleno, intemperización alta, muy erosionada.
RQD profundidad Resistencia promedio	Menor de 20% y baja resistencia(R2) Roca baja (R2)
Condiciones de agua	Goteo
Calidad de la masa rocosa	Superficie: Mala B a muy mala, con RMR entre 10-25. Profundidad: Pobre, con RMR 25

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

2.2. Bases teóricas de investigación

2.2.1. Emulsión gasificada SAN-G

Es un agente de voladura, producido en base a una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un elemento emulsificante.

Esta emulsión es sensibilizada en las operaciones mineras o canteras antes de su carguío a los taladros, mediante la dosificación de sales oxidantes químicamente balanceadas, produciendo una mezcla explosiva que presenta las siguientes características:

- Una densidad que se puede modificar, en función del tipo de roca.
- Una alta velocidad de detonación.
- Es altamente resistente al agua.
- Elevada viscosidad.
- Es segura cuando es sensibilizada.

SAN-G es un explosivo que se produce justo antes de ser bombeada / vaciada al taladro, mediante una reacción química entre la matriz SAN gasificada y el sensibilizante denominado solución N-20.

Componente 1 Matriz SAN inerte, gasificada	Componente 2 Sensibilizador solución N20
	
Densidad de matriz inerte: 1,38 g/cm ³	Densidad 1,12 g/cm ³

Figura 13. Muestra del sensibilizador SANig-N20

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

2.2.1.1. N20-sensibilizador

Al mezclarse este sensibilizador N20 con la matriz oxidante a la salida del mezclador del camión fábrica, se comienza a producir una reacción química, la cual se manifiesta por la generación de burbujas de nitrógeno, convirtiendo a la SAN-G en explosivo y reduciendo su densidad.

El tamaño y la distribución de las burbujas determinan la VOD del explosivo.

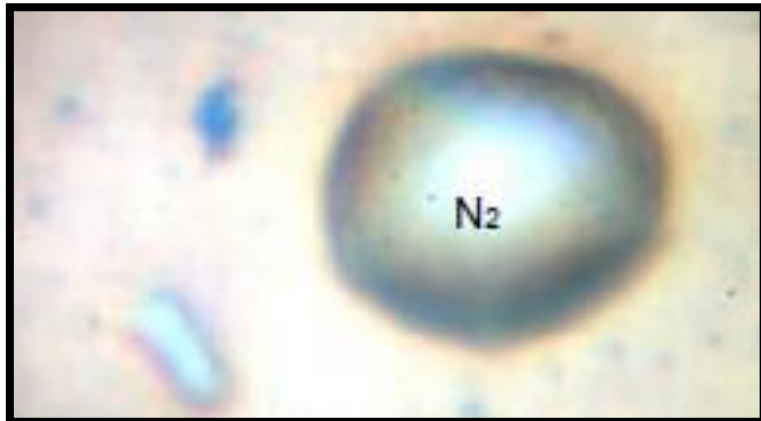


Figura 14. Muestra del sensibilizador N20
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

Como resultado de la reacción química entre la emulsión matriz inerte y la solución N20, se produce gas nitrógeno que queda atrapado en burbujas dentro de la matriz, son estas burbujas de nitrógeno las que sensibilizan la emulsión.

Observamos en la imagen:

- La burbuja de nitrógeno en un fondo de matriz SAN.
- Densidades de la SAN-G = 0,9 – 1,20 /cm³

- Velocidad de detonación = 5 200 a 5 500 m/s.
- AWS (Energía/Masa) = 610 Kcal/Kg.
- Excelente resistencia al agua.

Observamos la medición de la densidad, a través del kit de densidades.



Figura 15. Muestra la medición de densidades en mina La Zanja
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

La densidad está en función a la temperatura y concentración de sensibilizante N20, con la cual podemos regular hasta obtener una densidad apropiada para el tipo de dureza de roca que tenemos presente en el terreno.

2.2.1.2. Características principales de la SAN-G

- Es un agente de voladura por tratarse de una emulsión inerte, segura para su transporte, almacenamiento y transferencia.
- La sensibilización se produce en el campo, previo vaciado o bombeado con el N20 a través del mezclador estático, el cual se ubica a la salida de la bomba justo antes de ser cargada a los taladros, de modo que prácticamente la reacción química se da dentro del taladro.
- Luego de ser cargada en los taladros, la mezcla alcanza la densidad previamente monitoreada con el kit de densidades al cabo de 30 minutos.
- La densidad de la SAN-G varía de 0,9 a 1,2 g/cc y puede ser regulada en función de la concentración del N20, teniendo en cuenta la dureza de la roca, así como la presencia de agua.
- Al tener un alto VOD y volumen de gases, es posible ampliar las mallas de perforación y con ello reducir el factor de potencia y los costos relacionados.

- Longitud de carga inicial vaciada dentro del taladro se esponja hasta en un 25 % en los 30 minutos siguientes al vaciado.

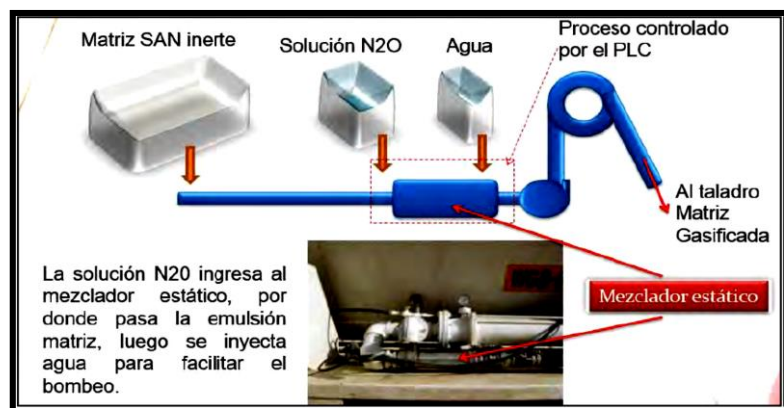


Figura 16. Muestra el proceso SAN gasificado en el camión fábrica (Famesa explosivos S.A.C)

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

2.2.1.3. Proceso de gasificación

Iniciado el proceso de carguío del taladro, el explosivo se va esponjando como resultado de la reacción química que se produce entre la emulsión matriz gasificada y el N2O, la cual se manifiesta por la generación de burbujas de nitrógeno, la que al momento de la detonación trabajan como “puntos calientes”, iniciando su detonación y propagando la

onda de detonación a lo largo de la columna explosiva. Este proceso de esponjamiento conlleva a una disminución de la densidad en el tiempo, el cual se evidencia al sobrepasar el volumen del recipiente que lo contiene.

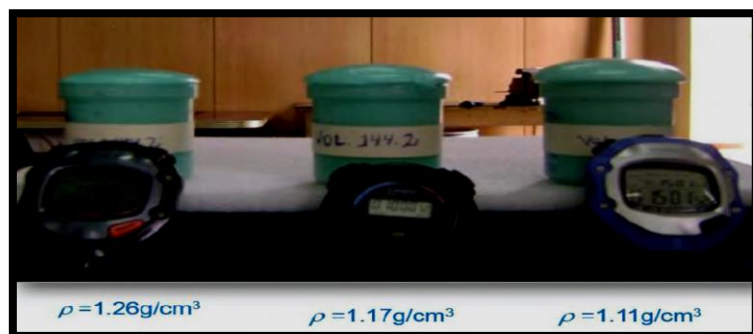


Figura 17. Muestra el proceso de esponjamiento y disminución de la densidad (Famesa explosivos S.A.C) a los 5,10 y 15 minutos.

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

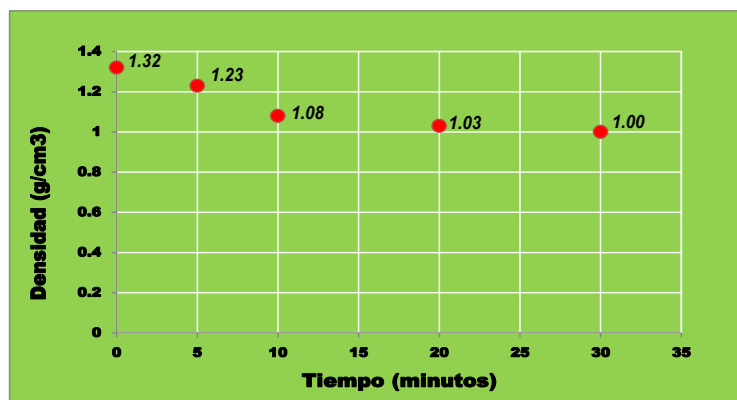


Figura 18. Curva de gasificación con 1,0% de N2O en diámetro de 6 1/8 de pulgada a 25°C

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

a) Sistema de gasificación del camión-fábrica

Los camiones fábrica para SAN-G, están acondicionados con un sistema de gasificación, que consta de un mezclador estático y un controlador lógico programable (PLC), para medir las variables del proceso como son:



Figura 19. Muestra la imagen de un camión fábrica, fabricando SAN-G

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

b) Temperatura y densidad de la emulsión gasificada SAN-G.

Se considera como temperatura normal de trabajo de 0°C a 40°C y 1,38 g/cm³.

2.2.1.4. Porcentaje de sensibilizante

La cantidad de sensibilizante está en función de la temperatura de la mezcla, es decir, a mayor porcentaje de temperatura y sensibilizante obtendremos una menor densidad final del gasificado, y a menor temperatura y sensibilizante obtendremos una mayor densidad final, de allí la versatilidad del producto y el conveniente control de la densidad según el tipo de roca que tengamos en el terreno.

Componente 1 Matriz SAN inerte, gasificada	Componente 2 Sensibilizador solución N20
	
Densidad de matriz inerte: 1,38 g/cm ³	Densidad 1,12 g/cm ³

Figura 20. Muestra la imagen del abastecimiento al camión del N20 y el almacén de los cilindros del nitrito (Fuente Mina La Zanja)

Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

a) Densidad de la emulsión gasificada

La densidad final de trabajo después de 30 minutos de vaciado al taladro de cargado está entre 0,95 y 1,08 g/cm³, dependiendo de tipo de roca con la que nos encontremos en campo. Para rocas suaves necesitamos una densidad de 0,95 g/cm³ y para rocas duras como una arenisca 1,08 g/cm³.



Figura 21. Muestra una imagen donde se utilizó SAN-G con una densidad de 1,05 g/cm³ en una arenisca.
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

b) Tiempo de gasificación

Es el tiempo que transcurre desde que la Emulsión Gasificada SAN-G se mezcla con la solución sensibilizante hasta que la densidad de la mezcla se estabiliza dentro del taladro, esto es aproximadamente durante los primeros 30 minutos.

Una vez el explosivo dentro del taladro hemos podido verificar su eficiencia hasta por un periodo de 30 días, esto tuvo lugar al realizarse una huelga en la comunidad y dejar de disparar un proyecto por el tiempo antes mencionado.

Al retornar a las operaciones disparamos el proyecto antes mencionado y obtuvimos una voladura con buenos resultados.

2.2.2. Agentes de explosivos

2.2.2.1. ANFO

El ANFO se compone de perlas de nitrato de amonio y diésel en una mezcla del 94 % y 6 % respectivamente. Dicha mezcla es ejecutada por el camión fábrica, para el cual tiene compartimientos que permite llevar los componentes por separados y realizar la mezcla en el campo.

2.2.2.2. Emulsión matriz

Una emulsión es un sistema bifásico en forma de dispersión estable de un líquido inmiscible en otro. Compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua del tipo hidrocarbonado.

2.2.2.3. ANFO pesado

El ANFO Pesado es una mezcla de emulsión matriz con ANFO, donde los huecos intersticiales presentados por el ANFO son ocupados por la emulsión y debido a ello actúa como una matriz energética. De acuerdo a los porcentajes de mezcla, las ventajas principales que presentan son: Mayor energía, mejores características de sensibilidad, gran resistencia al agua.

De acuerdo a las condiciones que se presentan en cada proyecto, se realizan las mezclas para generar un ANFO pesado que satisfaga las necesidades de la operación, sin embargo las mezclas más usadas son:

- HA 37 (30 % emulsión y 70 % de ANFO)
- HA 46 (40 % emulsión y 60 % de ANFO)
- HA 64 (60 % emulsión y 40 % de ANFO)

2.2.2.4. Accesorios de voladura

Son los dispositivos o productos empleados para cebar cargas explosivas, suministrar o transmitir una llama que inicie la explosión, llevar una onda detonadora de un punto a otro o de una carga explosiva a otra y los necesarios para probar las conexiones y disparar los explosivos para que pueda llevarse a cabo una voladura.

Los accesorios usados en la operación son los siguientes nombrados en forma general:

- Booster
- Retardo de fondo
- Retardos de superficie
- Cordón detonante
- Detonadores electrónicos
- Cable de disparo
- Detonador ensamblado

2.2.2.5. Carguío

El carguío del mineral es realizado por las excavadoras de producción CAT 374D con códigos Ex -11 y Ex -12, de capacidad de cuchara de 4,6 m³, sin embargo en ocasiones debido a cuestiones operativas, se utiliza la excavadora CAT 336 DL, con código Ex 336, de 2,4 m³ de cuchara.

Las excavadoras trabajan sobre una plataforma de material estable, la cual debe ser horizontal y será tal que la parte superior de la carrilera este a nivel de la tolva del volquete, asimismo, se debe verificar que los carriles del volquete deben estar nivelado para evitar daños innecesarios en muelles y problemas de volteos.

2.2.2.6. Acarreo

El Transporte del mineral desde el frente de carguío hacia el Pad, se lleva a cabo con volquetes

volvo scania, de una capacidad de 20m³. Actualmente se cuenta con 31 unidades distribuidas en una flota para desmonte de 10 unidades y una flota para mineral de 21 unidades.

La distancia recorrida por la unidades es de 4,8 Km y su ciclo promedio es de 31 minutos.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El presente trabajo es una investigación: aplicada, de acuerdo a la clasificación que siguen Ander – Egg y Bunge. El tipo de ensayo que se realizó es una estrategia experimental, de causa-efecto, la causa básica fue la aplicación de emulsión gasificada SAN-G que busca como efecto la factibilidad en el rendimiento de columna explosiva de la compañía minera “La Zanja”.

3.2. Diseño de investigación

Para efectos de la contrastación de hipótesis se utilizó el diseño:

- Exploratorio, pues en una primera etapa se examinó el problema de investigación mediante la recopilación de información técnica del nuevo explosivo gasificada.
- Descriptivo, pues se realizó una descripción y análisis de las variables influyentes en el problema de investigación es decir se buscó conocer las características y comportamientos actuales del tajo (la geología, geomecánicas, las prácticas operativas, etc.).
- Experimental y correlacional, porque se buscó investigar las posibles relaciones causa – efecto bajo condiciones cuidadosamente controladas. Se realizaron pruebas en proyectos bajo diseños específicos y se controló el nivel de resultado para luego ser implementado o descartado.

3.3. Nivel de investigación

El presente trabajo de investigación ha considerado los niveles siguientes, es decir, el grado de profundidad con que se ha realizado el estudio: con el que se va a realizar el trabajo de investigación.

- Descriptiva.
- Correlacional.
- Explicativa.

3.4. Método de investigación

El método experimental manipuló variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de las variables y su efecto en las conductas observables, se utilizó un diagrama de flujo (figura .1) donde se expresa desde el inicio hasta el final de la investigación, para demostrar la hipótesis.

La primera parte del proyecto consistió en la definición del problema, identificando los puntos a mejorar, luego se recopiló la información acerca de la caracterización geológica (litología, alteración), geomecánica, de minera La Zanja.

Dicha información sirvió como parte de las variables de entrada a tomar en cuenta para el diseño.

La segunda parte consistió en la realización de un estudio de línea base donde se identificó las prácticas operativas que influye en el resultado de los aspectos operativos, medioambientales, de seguridad y económicos; se realizó la evaluación de calidad de agentes de voladura y explosivos mediante pruebas de campo con el nuevo producto en estudio, en los proyectos de voladura.

En la tercera parte se utilizó la información recopilada para la realización de las actividades operativas de minado, uso o descarte de detonadores electrónicos, evaluación de los tiempos de retardo entre taladros y filas, y la evaluación de la secuencia de salida de los disparos.

Posteriormente, se analizaron los resultados obtenidos y finalmente, tras haber decidido qué mejoras se realizarían, se procedió a tomar las medidas de control necesarias para que el estudio perdure en el tiempo dando los resultados esperados y propuestos.

A continuación se presenta la formulación del plan de trabajo:

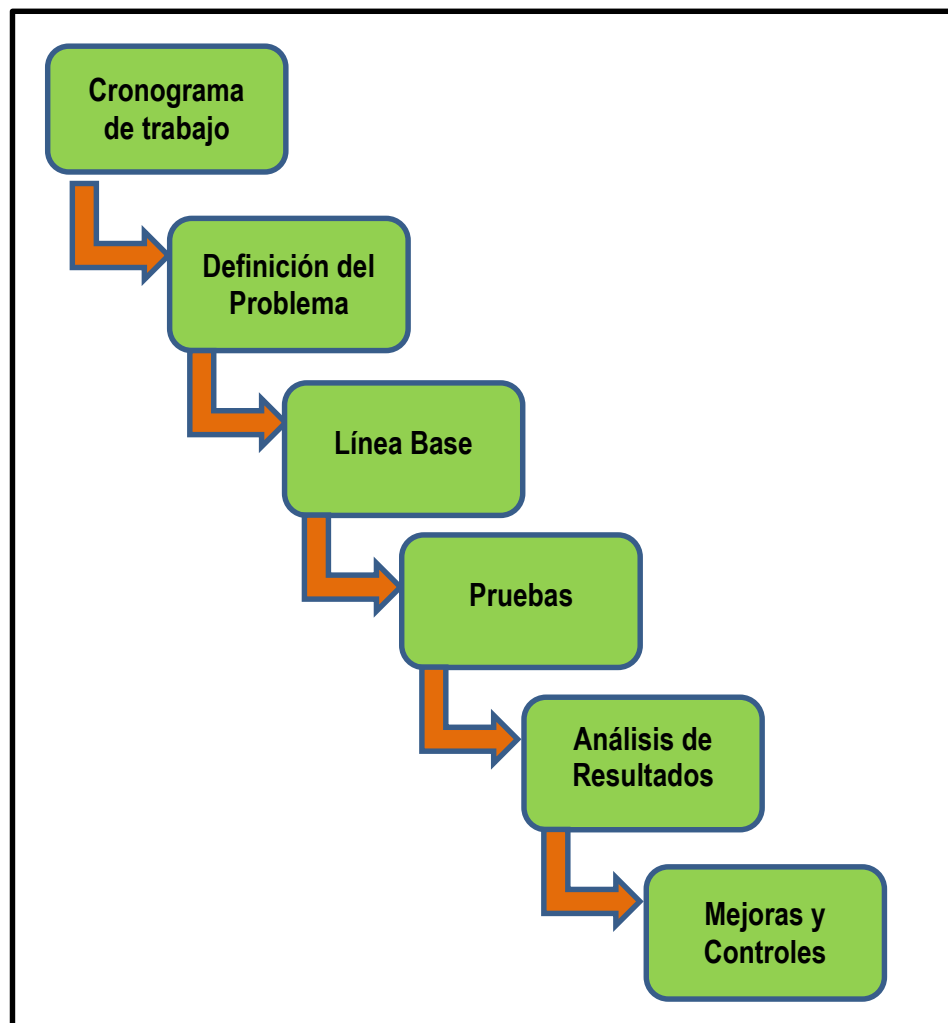


Figura 22. Plan de trabajo
Fuente: Elaboración propia 2 014

3.5. Procedimientos de desarrollo

La zanja es una operación minera a tajo abierto dedicada a la producción de oro a partir de un cuerpo mineralizado de óxidos. La explotación minera se lleva a cabo con bancos de 6 m. de altura y de un ángulo de inclinación de 65° . Actualmente se viene explotando los niveles 3 390, 3 384, 3 378 del tajo San Pedro Sur. El nivel de producción es de 22 500 Tn/día y 12 000 Tn/día de desmonte.

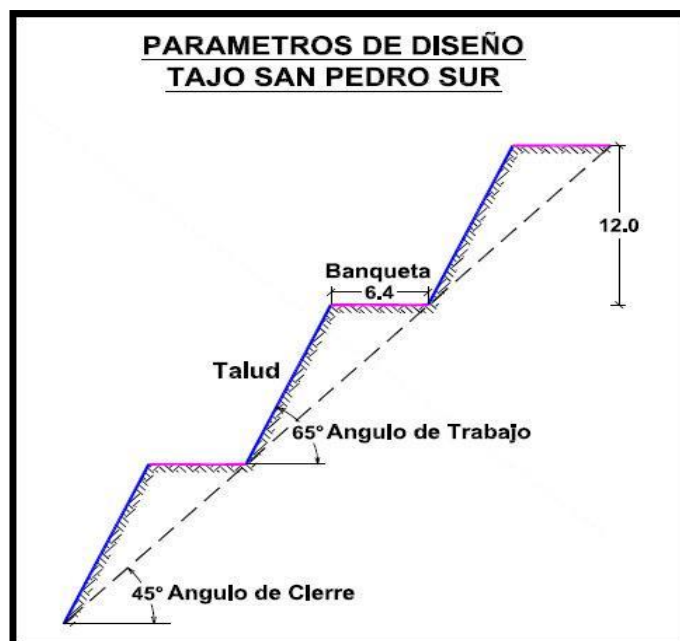


Figura 23: Parámetros de diseño del tajo San Pedro Sur
Fuente: Geología minera La Zanja 2 014

3.5.1. Línea base de las actividades de perforación y voladura

3.5.1.1. Diseño

El presente estudio toma como referencia el diseño que se usaba hasta junio del 2 014, fecha en la cual se empezó la elaboración del seguimiento a las actividades de perforación y voladura.

Tabla 5

Parámetros de perforación y voladura zona norte

Diseño	Unidad	Precorte	Buffer		Producción	
Diámetro de perforación	pulg	5	6,75		6,75	
Malla B:E	m	1,3	3,03	3,5	4,7	5,5
Profundidad	m	6,5		6,5	6,5	
Altura de banco	m	6		6	6	
Volumen	m³	0	63,63		155,1	
Ángulo de perforación	grados	65		90	90	
Condición	-	Seco/agua	Seco	Agua	Seco	Agua
Explosivo	-	Exsaline	HA 46	HA 64	HA 46	HA 64
Carga lineal	Kg/m		28,2	30,3	28,2	30,3
Altura de carga	m	5,6	2	2	4	4
Carga	Kg	7,28	56,4	60,6	112,8	121,2
Aire	m	No aplica	1	1	-	-
Taco	m	sin taco	3,5	3,5	2,5	2,5
Factor de potencia	Kg/Tn	0,30	0,37	0,40	0,30	0,33
Pasante 80 (P80) promedio	Pulg		11,4			

Fuente: Perforación y voladura La Zanja 2 014

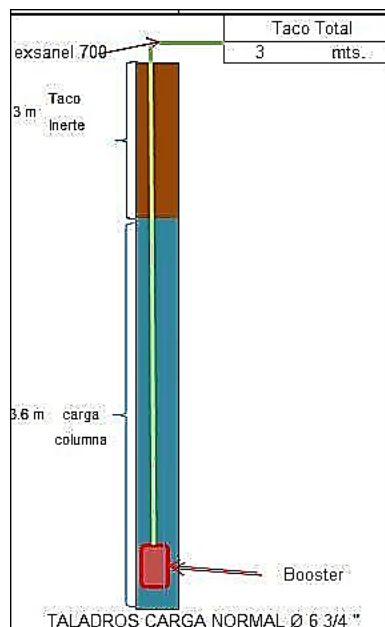


Figura 24. Diseño de carga
Taladro de producción

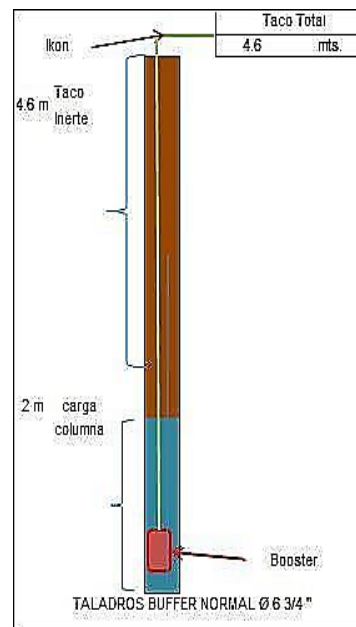


Figura 25. Diseño de carga
Taladros buffer

Fuente: Perforación y voladura minera La Zanja 2 014

Cabe mencionar que desde principios de año se ha venido reduciendo paulatinamente la malla de perforación en coordinación con la empresa contratista stracongym, las mallas variaron de (5,7x4,9) m, (5,5x4,7) m, (5,2x4,5) m, pero dicha variación no contribuyó significativamente a la obtención de resultados óptimos y constantes a nivel de fragmentación, el cual tenía un P 80 arriba de 8,9 pulg.

3.6. El proceso de voladura - agente de voladura SAN-G

Para todo trabajo de voladura existen variables controlables y no controlables, el cual detallamos a continuación:

- Variables controlables
- Diámetro de perforación
- Sobre perforación
- Altura de taco
- Burden
- Tamaño de voladura

Sistema de iniciación, altura de perforación, material de taco, espaciamiento, dirección de tronadora, número de caras libres método de carguío, otros:

- Variables no controlables geología
- Frecuencia de fracturas
- Condiciones de agua
- Propiedades geomecánicas
- Orientación de estructuras

3.6.1. Agente de voladura

Agente de voladura preparado en base a una emulsión, que se transporta a las minas como producto inerte, se sensibiliza en las operaciones antes de ser cargado a los taladros mediante una solución gasificante.

CARACTERÍSTICAS DE LA SAN-G

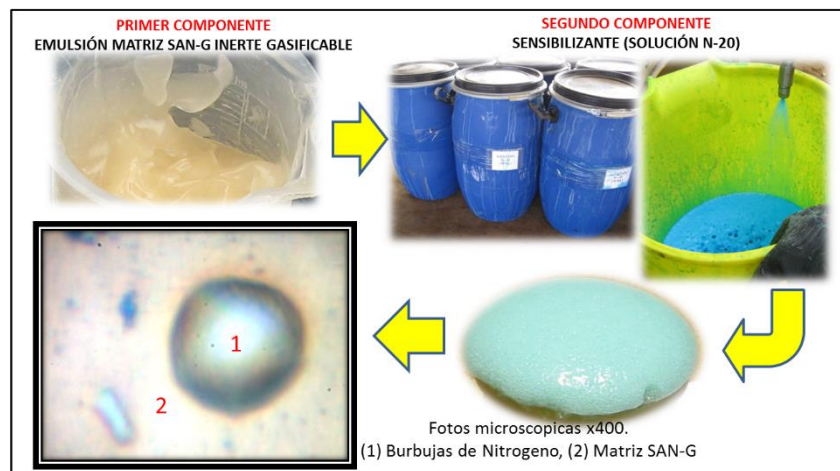


Figura 26: Características de SANG

Fuente: Área de investigación y desarrollo FAMESA 2 014

CAPÍTULO IV

PRUEBAS TÉCNICAS CON EMULSIÓN GASIFICADA SAN-G MINERA LA ZANJA, OPTIMIZACIÓN OPERATIVA, ECONÓMICA, LOGÍSTICA Y MEDIO AMBIENTAL CON SU USO.

Minera la Zanja en su necesidad de buscar una alternativa en los procesos relacionados a voladura, principalmente en el aspecto operacional, económico, ambiental y logístico donde el principal producto utilizado era el ANFO pesado; es que se solicita a Famesa explosivos realizar pruebas técnicas en junio del 2 014 con su producto alternativo SAN-G.

En estas pruebas el área de asistencia técnica de Famesa es responsable de demostrar el buen performance del producto y las diferentes mejorías logradas en comparación con el ANFO Pesado. Para esto se hace el seguimiento en los proyectos de voladura donde se lleva los controles de densidad, VOD, y fragmentación obtenida.

Se realizó el estudio de costos del explosivo donde se demostró el ahorro cuantitativo que se obtuvo con el uso del SAN-G comparado con el explosivo convencional usado (ANFO pesado), a su vez se demostró en el tema logístico las mejoras a sus procesos y en medio ambiente se obtuvieron de igual manera resultados positivos.

Estas pruebas y su posterior análisis cuantitativo fueron determinantes para que superintendencia de mina y el área de voladura se inclinaran a cambiar totalmente su explosivo, es así que hasta la actualidad se viene utilizando como es el SAN-G.

Se detalla a continuación los procesos realizados en las pruebas, monitoreo de las voladuras, análisis económico, operativo, logístico y medio ambiental.

4.1. Trabajo de campo

Como parte del seguimiento de las actividades de perforación y voladura, se identificó prácticas operativas desfavorables los cuales conducen a aportar en forma negativa al éxito de los disparos.

4.1.1. Calibración del camión fábrica

Calibración defectuosa del camión fábrica, no periódica, lo que genera que la mezcla solicitada realmente no sea la entregada al taladro. Se puede cargar con una mezcla deficiente en emulsión para taladros con agua y ello genera condiciones para el inadecuado desempeño del explosivo y la generación de gases nitrosos.

Este problema se genera por el proceso de mezclado del ANFO pesado que es complejo, ya que se tiene que calibrar cada componente, emulsión, nitrato, petróleo, todo esto por separado, el sistema PLC de camión fábrica sufre descompensaciones constantemente y su calibración por lo tanto debe ser periódica, obligando a cambiar los factores de cada producto.

En el caso del mezclado de SAN-G estos problemas se reducen ya que solo se inyecta un sensibilizante (N-20) y en mínimas proporciones, teniendo que calibrar solo emulsión y

sensibilizante (N-20), en algunos casos el factor de cada producto no se altera.

4.1.2. Carguío de taladros

Los taladros que tienen presencia de agua arriba de 0,50 cm se observó en campo que se cargaban con mezcla HA 64 vaciable cuando su empleo en tales condiciones se debe realizar únicamente si es que se cuenta con un sistema bombeable.

4.1.3. Densidades de la mezcla

Se observó que el control de la densidad de la mezcla explosiva se realizaba únicamente al inicio del carguío, lo cual es una práctica errónea, ya que dicho control se debe realizar cada cierto número de taladros, para verificar la constancia de la entrega de la mezcla en el proyecto, adicional a ello en nuestra operación el camión fábrica suele descalibrarse con mucha facilidad en el traslado.

Usando el SAN-G se va a tener una mezcla uniforme sin problemas de descalibración, ya que su sistema de mezclado es más simple solo llevando un mezclador estático que inyecta el N-20 al producto.

4.1.4. Stemming

Se carga con detritus de perforación que presenta una granulometría fina (no es el adecuado para ser usado como taco) y sin usar el atacador cuando lo correcto es usar stemming de 1,5 pulg y con un atacado adecuado donde tendremos una buena retención de taco. Se solicitó el acondicionamiento de una saranda para seleccionar el material adecuado que se usará como stemming.

4.2. Desarrollo de las pruebas

Una vez concluidas las coordinaciones, el día 06 de junio se dio inicio a las pruebas con SAN-G, para el desarrollo de estas pruebas se cargó un total de 3 870 taladros teniendo un consumo total de 394,123 kg de SAN-G distribuidos en los distintos proyectos.

Durante el desarrollo de las pruebas se ha realizado en monitoreo permanente de las densidades en sus diferentes variaciones con la finalidad de evaluar los resultados y establecer el carguío adecuado.

Asímismo, se ha realizado mediciones de la VOD y monitoreo de las vibraciones en las pruebas, las mismas que se indican en los registros y tablas que se adjuntan al presente informe.

4.2.1. Ejecución en el campo y análisis de resultados



Desde el momento del carguío en el taladro, el explosivo se va esponjando, por efecto de la reacción química que se produce entre la emulsión matriz y la solución n-20, ésta a su vez forma pequeñas burbujas de nitrógeno.

Figura 27. Ejecución de primado y carguío

Fuente: Asistencia técnica Famesa. 2 014



El registro de densidades es muy importante para conocer el tiempo de gasificación y conseguir el óptimo listo para ser detonado

Figura 28. Control de densidades

Fuente: Asistencia técnica Famesa 2 014

Tabla 6

Parámetros de perforación y voladura zona norte utilizando SAN-G

Diseño	Unidad	Precorte	Buffer	Producción	
Diámetro de perforación	pulg	5	6,75	6,75	
Malla B:E	m	1,3	3,03	3,5	4,6
Profundidad	m	6,5	6,5	6,5	
Altura de Banco	m	6	6	6	
Volumen	m ³	0	63,63	155,1	
Ángulo de perforación	grados	65	90	90	
Condición	-	Seco/agua	Seco	Agua	Seco
Explosivo	-	Exsaline	SAN-G(1,0 g/cc)	SAN-G (1,1SAN-G (1,0SAN-G (1,1	Agua
Carga lineal	Kg/m		23	25,4	23
Altura de carga	m	5,6	2	2	4
Carga	Kg	7,28	46	50,8	92
Aire	m	No aplica	1	1	-
Taco	m	sin taco	3,5	3,5	2,5
Factor de potencia	Kg/t	0,30	0,41	0,43	0,42
Pasante 80 (P80) promedio	Pulg			6,5	0,44

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014.

4.2.2. Monitoreo de velocidad de detonación

Este control se realizó con el fin de demostrar que el poder rompedor de del SAN-G en comparación con el ANFO pesado que se usaba en las voladuras, teniendo como indicador la velocidad de detonación de ambos explosivos en el taladro cargado. El área de control de calidad de Famesa explosivos realiza diferentes pruebas al explosivo antes de salir al mercado, una de estas pruebas es la prueba de macrohees que nos indica el poder rompedor del explosivo, para el caso del SAN-G se solicitó realizar esta prueba en comparación con un HA-46 para tener como indicador del explosivo que se va a probar.

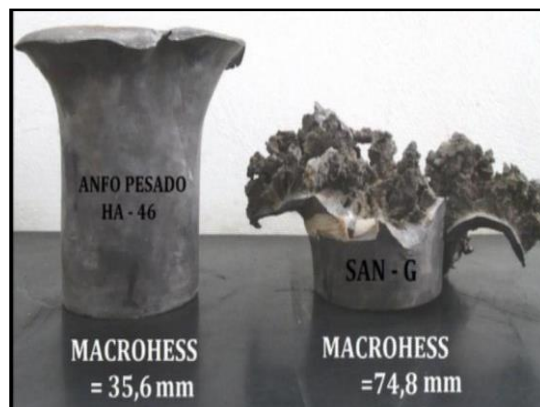


Figura 29. Pruebas de Laboratorio: Macrohees
Fuente: Área de control de calidad Famesa 2 014

4.2.3. Velocidad de detonación SAN-G

Estos monitoreos realizados en los taladros cargados con SAN-G nos dieron VOD por encima de los 5 000 m/s obteniendo VOD máximos hasta 5 420 m/s, aquí se tiene que resaltar un factor importante del explosivo que es su densidad, ya que se presenta densidades muy por debajo que el HA-64 (1,05; 1,12 g/cc). (ver Tabla 7; Fig. 30).

Tabla 7

Resumen de la velocidad de detonación

FECHA	BANCO	PROY	INICIADOR	EXPLOS.	DENSIDAD (gr/cm ³)	VELOC. DE DETONAC. (m/s)	PRESIÓN DE DETONAC. (K Bar)	PRESIÓN DE DETONAC. (Mpa)	OBSERVACIONES
06-jun	3384	40	01 Booster	SAN-G	1,1	5 080,86	68,0	7 099,2	Taladro totalmente con agua
11-jun	3378	10	01 Booster	SAN-G	1,1	5 220,68	71,8	7 495,3	Taladro seco
12-jun	3378	18	01 Booster	SAN-G	1,05	5 417,95	75,4	7 705,5	Taladro totalmente con agua
16-jun	3372	4	01 Booster	SAN-G	1,05	5 420,14	75,4	7 711,7	Taladro totalmente con agua
24-jun	3372	9	01 Booster	SAN-G	1,05	5 415,80	75,3	7 699,4	Taladro totalmente con agua
25-jun	3372	10	01 Booster	SAN-G	1,03	5 290,00	71,1	7 205,9	Taladro totalmente con agua
01-jul	3366	4	01 Booster	SAN-G	1,03	5 275,50	70,7	7 166,5	Taladro totalmente con agua

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014.

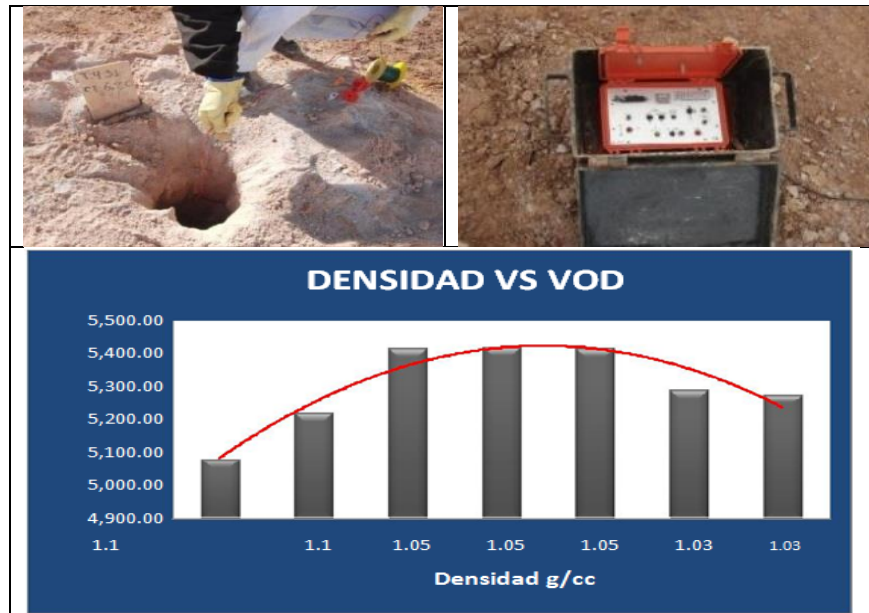


Figura 30. Densidad vs VOD

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos. 2 014

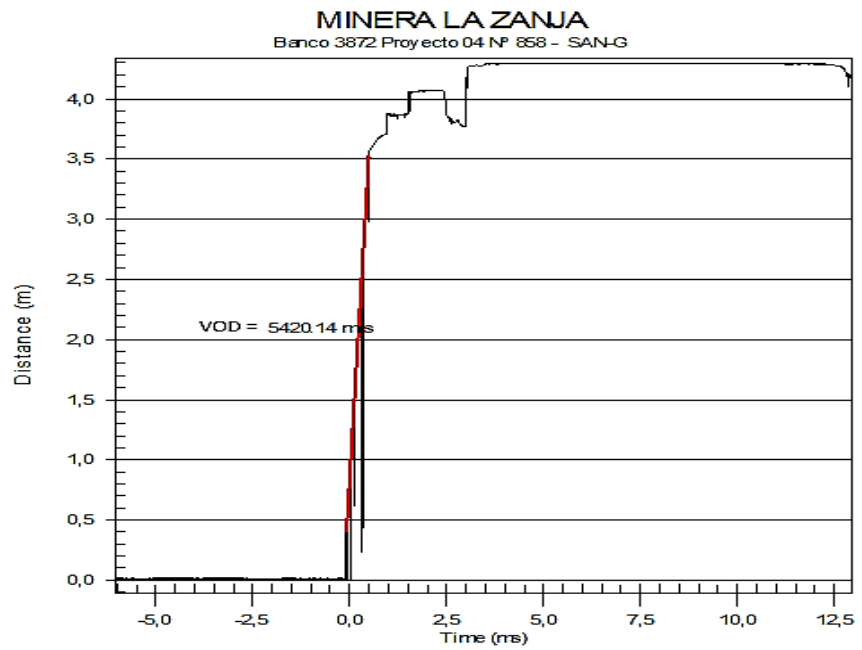


Figura 31: VOD SAN-G

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

4.2.4. Monitoreo de VOD HA 60/40

Para poder comparar el VOD del SAN-G con esta mezcla es que se tenía que llevar el monitoreo de este explosivo, es así que se obtuvieron tres registros con velocidades de detonación por debajo de 5 000 m/s.

También se puede observar las densidades que están por encima de 1,30 g/cc. Estos se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 8

Resumen de la velocidad de detonación – HA 60/40

FECHA	BANCO	PROY	INICIADOR	EXPLOS	DENSIDAD (gr/cm ³)	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	PRESIÓN DE DETONACIÓN (K Bar)	PRESIÓN DE DETONACIÓN (Mpa)	OBS
04-jun	3 384	39	01 Booster	HA 60/40	1,3	4 371,70	54,8	6 211,3	Taladro totalmente con agua
03-jul	3 372	15	01 Booster	HA 60/40	1,31	4 427,80	56,4	6 420,8	Taladro totalmente con agua
19-jul	3 366	6	01 Booster	HA 60/40	1,3	4 004,80	46,0	5 212,5	Taladro parcialmente con agua

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

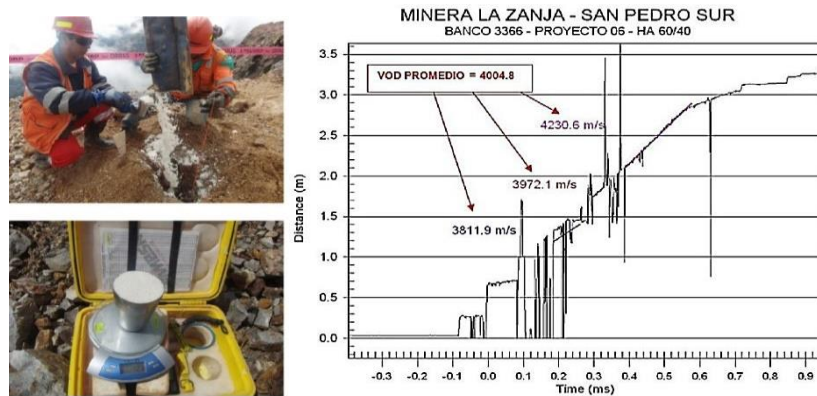


Figura 32. VOD HA-64

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

De esta manera se demuestra el gran poder rompedor del SAN-G con VOD superiores a 5 000 m/s frente al HA-64 que registró VOD por debajo de 5 000 m/s. esto gracias a la sensibilización que tiene este producto, refiriéndonos a las burbujas de hidrógeno formadas en la reacción.

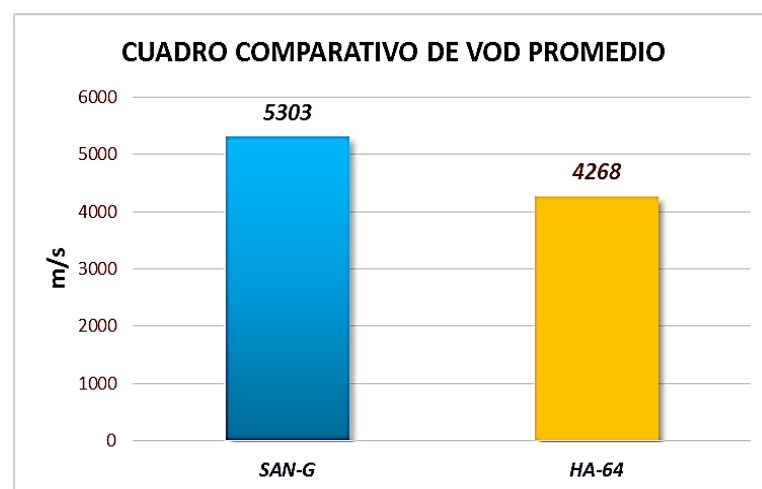


Figura 33. Comparativo de VOD promedio

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014.

4.2.5. Monitoreo de densidades de explosivos

Es importante tener el control de densidades del explosivo ya que este tiene que estar acorde con el diseño de carga establecido, como se mencionó anteriormente el SAN-G trabaja con densidades por debajo del HA-64, esto nos permitió bajar notoriamente el factor de potencia en los proyectos cargados. El proceso de toma de densidades es el siguiente: Al inicio del carguío de los taladros en los proyectos que se dispararon se hicieron mediciones de las densidades del producto, estas variaron desde 1,34 y 1,36 gr/cc., como densidad inicial y transcurrido 30 minutos se estabiliza entre 1,05 gr/cc. y 1,00 gr/cc., como mínimo. En los 35 proyectos cargados la densidad final de la emulsión gasificada SAN-G, alcanzó un rango entre 1,00 a 1,05 gr/cc. Este proceso de reacción del SAN-G durante el carguío va a depender principalmente de la temperatura que presente el producto (entre 15° y 35°), según como se presente es que se va a inyectar un determinado porcentaje de solución N-20. Para tener claro este proceso se generó una tabla que muestra el comportamiento del SAN-G en su proceso de reacción.

Tabla 9

Tabla resumen de densidad final SAN-G a temperatura y % N-20 en el PLC de camión fábrica.

TEMPERATURA SAN-G=35°C							
% N-20	1,2	1,1	1,0	0,95	0,9	0,95	0,9
DENSIDAD FINAL (gr/cc)	0,85	0,9	0,95	1	1,1	1,15	1,2
TEMPERATURA SAN-G=30°C							
% N-20	1,3	1,2	1,1	1	0,95	0,9	0,85
DENSIDAD FINAL (gr/cc)	0,85	0,9	0,95	1	1,1	1,15	1,2
TEMPERATURA SAN-G=27°C							
% N-20	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,95	0,9
DENSIDAD FINAL (gr/cc)	0,85	0,9	0,95	1	1,1	1,15	1,2
TEMPERATURA SAN-G=25°C							
% N-20	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,95
DENSIDAD FINAL (gr/cc)	0,85	0,9	0,95	1	1,1	1,15	1,2
TEMPERATURA SAN-G=20°C							
% N-20	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1
DENSIDAD FINAL (gr/c)	0,85	0,9	0,95	1	1,1	1,15	1,2
TEMPERATURA SAN-G=15°C							
% N-20	1,65	1,55	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
DENSIDAD FINAL (gr/cc)	0,85	0,9	0,95	1	1,1	1,15	1,2

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

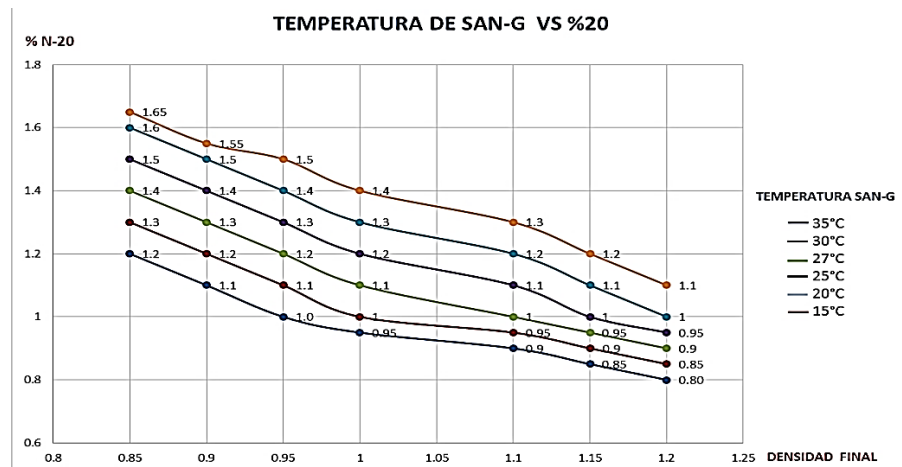


Figura 34. Comparativo de Temperatura de SAN-G vs % 20

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

A continuación se presenta una tabla resumen del registro de densidades en los proyectos cargados con SAN-G, donde se indica la densidad final alcanzada para cada proyecto y los kilogramos cargados por taladro.

Tabla 10

Registro de densidades

ITEM	FECHA DE DISPARO	BANCO	PROY	N° DE MUESTRA	T° PROM (°C)	SOLUCION N-20 (%)	DENSIDAD				TACO INICIAL (m)	TACO PROM FINAL (m)	SAN-G TALAD (Kg)	N° DE TALAD
							INICIAL (0 min)	FINAL (05 min)	FINAL (10 min)	FINAL (30 min)				
1	06/06/2014	3384	40	1	20,0	1,50	1,31	1,23	1,16	1,05	3,00	2,40	111	94
				2	22,0		1,29	1,20	1,14	1,03	2,80	2,20		
2	07/06/2014	3378	15	1	17,5	1,50	1,30	1,23	1,16	1,01	3,00	2,40	102	141
				2	17,5		1,30	1,21	1,12	1,02	3,00	2,30		
3	08/06/2014	3378	16	1	18,0	1,50	1,28	1,23	1,15	1,03	3,00	2,40	98	67
				2	18,3		1,31	1,20	1,12	1,04	2,80	2,40		
4	09/06/2014	3378	17	1	18,0	1,50	1,31	1,23	1,16	1,05	3,00	2,50	101	115
				2	18,2		1,31	1,21	1,11	1,02	3,00	2,40		
5	10/06/2014	3378	19	1	18,4	1,50	1,30	1,22	1,12	1,04	3,00	2,40	84	147
				2	18,9		1,30	1,23	1,18	1,05	3,00	2,40		
6	11/06/2014	3378	20	1	15,7	1,50	1,32	1,24	1,18	1,05	3,00	2,40	94	73
				2	15,6		1,31	1,23	1,15	1,03	3,00	2,30		
7	12/06/2014	3378	18	1	16,3	1,17	1,3	1,2	1,2	1,04	3,00	2,40	95	108
				2	16,8		1,3	1,2	1,1	1,01	2,80	2,40		
8	13/06/2014	3372	1	1	14,7	1,18	1,3	1,2	1,2	1,05	3,00	2,30	95	171
				2	15,7		1,3	1,2	1,2	1,05	3,00	2,40		
9	14/06/2014	3372	2	1	16,4	1,20	1,3	1,2	1,2	1,05	3,00	2,40	113	131
				2	14,8		1,3	1,2	1,1	1,03	3,00	2,40		
10	16/06/2014	3378	14	1	12,9	1,25	1,3	1,2	1,2	1,05	2,80	2,30	82	96
				2	14,7		1,3	1,2	1,1	1,02	3,00	2,40		
11	16/06/2014	3378	4	1	14,9	1,28	1,31	1,23	1,2	1,05	3,00	2,40	125	33
				2	14,8		1,29	1,20	1,1	1,03	3,00	2,30		
12	20/06/2014	3372	6	1	17,0	1,16	1,30	1,23	1,2	1,05	3,00	2,40	97	102
				2	17,9		1,30	1,21	1,1	1,02	2,80	2,40		
13	21/06/2014	3372	7	1	20,0	1,22	1,28	1,23	1,2	1,03	3,00	2,40	118	119
				2	19,8		1,31	1,20	1,1	1,04	3,00	2,40		
14	21/06/2014	3378	21	1	16,4	1,22	1,31	1,23	1,2	1,05	2,90	2,30	103	49
				2	16,6		1,31	1,21	1,1	1,02	2,90	2,40		
15	22/06/2014	3372	8	1	16,7	1,24	1,31	1,23	1,2	1,05	3,00	2,20	116	83
				2	16,7		1,29	1,20	1,1	1,03	2,90	2,40		
16	23/06/2014	3378	24	1	16,4	1,16	1,30	1,23	1,2	1,05	3,00	2,40	117	154
				2	16,7		1,30	1,21	1,1	1,02	3,00	2,40		
17	24/06/2014	3372	9	1	16,4	1,20	1,28	1,23	1,2	1,03	3,00	2,30	112	110
				2	16,9		1,31	1,20	1,1	1,04	3,00	2,40		
18	25/06/2014	3372	10	1	15,9	1,20	1,31	1,23	1,2	1,05	3,00	2,20	118	148
				2	19,7		1,31	1,21	1,1	1,02	3,00	2,40		
19	27/06/2014	3372	11	1	16,8	1,10	1,31	1,23	1,2	1,05	3,00	2,30	92	62
				2	18,7		1,29	1,20	1,1	1,03	3,00	2,40		
20	27/06/2014	3378	25	1	17,3	1,11	1,30	1,23	1,2	1,05	3,00	2,30	100	109
				2	16,5		1,30	1,21	1,1	1,02	3,00	2,40		
21	28/06/2014	3384	41	1	17,7	1,35	1,28	1,23	1,2	1,03	3,00	2,40	71	77
				2	17,9		1,31	1,20	1,1	1,04	3,00	2,20		
22	30/06/2014	3372	13	1	13,0	1,30	1,3	1,23	1,2	1,05	3,00	2,20	116	33
				2	13,6		1,3	1,21	1,1	1,02	3,00	2,40		
23	31/06/2014	3372	14	1	16,4	1,15	1,3	1,23	1,2	1,05	3,00	2,30	108	112
				2	16,3		1,3	1,20	1,1	1,03	3,00	2,40		
24	01/07/2014	3378	26	1	16,9	1,10	1,3	1,23	1,2	1,05	3,00	2,30	87	101
				2	16,2		1,3	1,21	1,1	1,02	3,00	2,30		
25	03/07/2014	3366	1	1	15,7	1,10	1,28	1,23	1,2	1,03	3,00	2,40	111	37
				2	16,1		1,31	1,20	1,1	1,04	3,00	2,40		
26	03/07/2014	3372	15	1	14,7	1,10	1,31	1,23	1,2	1,05	3,00	2,30	97	111
				2	14,9		1,31	1,21	1,1	1,02	3,00	2,40		
27	04/07/2014	3366	2	1	15,0	1,10	1,30	1,22	1,1	1,04	3,00	2,30	108	89
				2	15,2		1,30	1,23	1,2	1,05	3,00	2,40		
28	09/07/2014	3366	3	1	15,7	1,21	1,31	1,23	1,2	1,05	3,00	2,30	109	150
				2	16,1		1,28	1,23	1,2	1,05	3,00	2,40		
29	10/07/2014	3372	16	1	14,5	1,06	1,31	1,23	1,2	1,05	3,00	2,30	125	91
				2	14,2		1,29	1,20	1,1	1,03	3,00	2,40		
30	11/07/2014	3366	4	1	15,6	1,20	1,30	1,23	1,2	1,05	3,00	2,30	106	155
				2	15,2		1,30	1,21	1,1	1,02	3,00	2,40		
31	12/07/2014	3366	5	1	14,0	1,20	1,31	1,23	1,1	1,02	3,00	2,40	121	120
				2	14,8		1,31	1,23	1,2	1,05	2,90	2,40		
	13/07/2014	3366	5	1	17,5	1,26	1,28	1,23	1,2	1,03	3,00	2,30	104	43
				2	16,2		1,31	1,20	1,1	1,04	3,00	2,40		
32	14/07/2014	3450	1	1	15,3	1,28	1,31	1,23	1,2	1,05	3,00	2,30	69	76
				2	14,5		1,31	1,21	1,1	1,02	3,00	2,40		
33	14/07/2014	3372	18	1	14,8	1,28	1,31	1,23	1,2	1,05	3,00	2,30	96	128
				2	14,5		1,29	1,20	1,1	1,03	3,00	2,40		
34	15/07/2014	3366	6	1	14,5	1,28	1,30	1,23	1,2	1,05	3,00	2,30	116	82
				2	14,5		1,30	1,21	1,1	1,02	3,00	2,40		
35	19/07/2014	3366	8	1	14,8	1,38	1,28	1,23	1,2	1,03	3,00	2,30	108	46
				2	16,2		1,31	1,20	1,12	1,04	3,00	2,30		

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

4.2.6. Monitoreo de vibraciones

El monitoreo de los niveles de vibraciones se ha realizado en los 17 proyectos cargados con SAN-G, con la finalidad de evaluar los niveles de vibración alcanzados, producto de usar el nuevo explosivo, de los cuales 05 fueron en campo cercano y 12 en campo lejano tal como se describe en las tablas 11 y Tabla 12 respectivamente.

Tabla 11
Monitoreo de vibraciones explosivo SAN-G

Datos de Monitoreo	EXPLOSIVO EMULSIÓN GASIFICADA SAN-G			Eje (x)	Eje (y)
SAN PEDRO SUR	V (mm/s)	D (m)	W (Kg)	De = D/W ^{1/2}	VPP (mm/s)
Disparo (Fecha)	Vel. Pico Particular	Distancia Monitoreo	(Peso max/retardo)	Distancia escalar	Vel. Pico Particular
09-jun-14	146,588	30,00	110,00	2,86	146,59
10-jun-14	182,640	24,00	110,00	2,29	182,64
11-jun-14	172,466	24,00	110,00	2,29	172,47
12-jun-14	128,270	24,00	110,00	2,29	128,27
13-jun-14	103,306	24,00	110,00	2,29	103,31
14-jun-14	142,525	30,00	110,00	2,86	142,53
15-jun-14	111,372	35,00	110,00	3,34	111,37
22-jun-14	89,948	40,00	110,00	3,81	89,95
23-jun-14	74,498	45,00	110,00	4,29	74,50
24-jun-14	62,941	50,00	110,00	4,77	62,94
25-jun-14	54,039	55,00	110,00	5,24	54,04
26-jun-14	47,016	60,00	110,00	5,72	47,02

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Tabla 12
Monitoreo de vibraciones disparos SAN-G

Disparo (Fecha)	Datos de monitoreo		W (Kg) (Peso max/retardo)	Eje (x) De = $D/W^{1/2}$	Eje (y)
	V (mm/s) Vel. Pico Particula	D (m) Distancia Monitoreo		Distancia escalar	VPP (mm/s) Vel. Pico Particula
16-jun-14	4 699	370,07	110,00	35,28	4,70
27-jun-14	7 747	236,06	110,00	22,51	7,75
28-jun-14	28 956	322,82	110,00	30,78	28,96
30-jun-14	7 874	351,38	110,00	33,50	7,87
31-jun-14	4 445	416,13	110,00	39,68	4,45

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

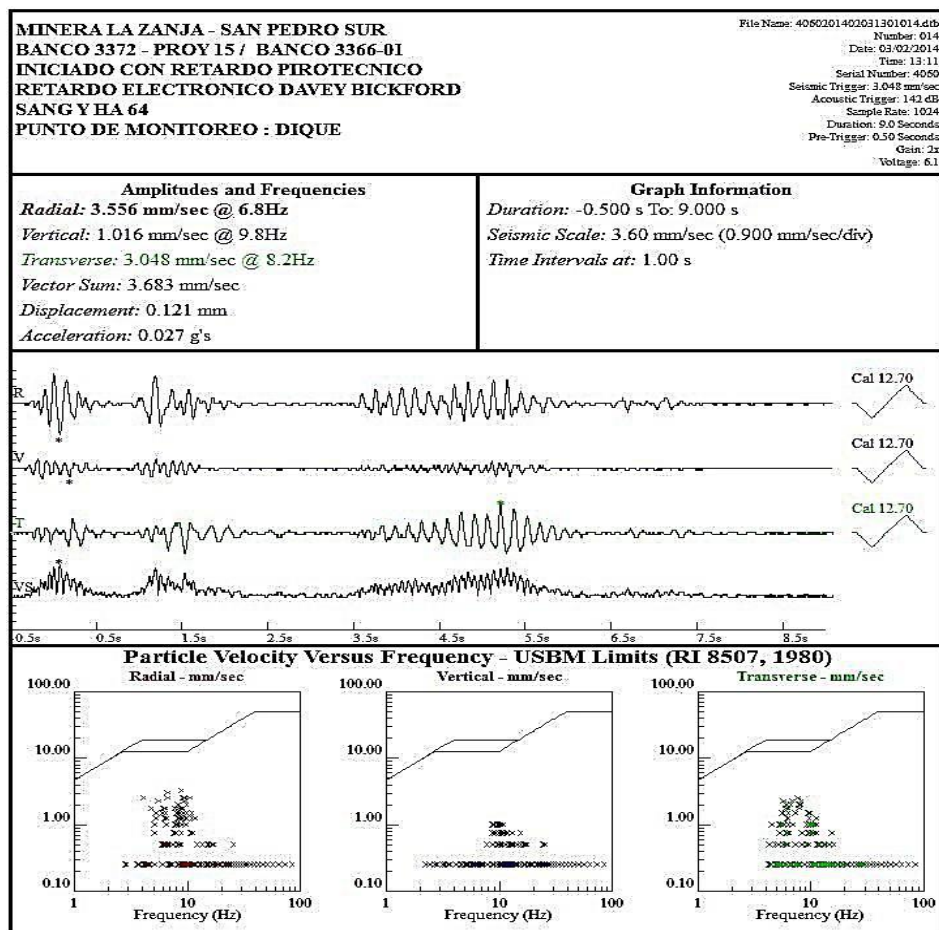


Figura 35. Monitoreo de vibraciones.

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Disparo iniciado con retardo pirotécnico posteriormente con retardo electrónico, el valor resultante fue de 3 683 mm/s, con un promedio en la frecuencia de 8,26 hz, considerando los criterios la frecuencia no debe ser mayor a 10 hz en las ondas superficiales.

Normalmente las detonaciones con retardos pirotécnicos suele tener valores altos en la propagación de la onda, por eso es muy importante considerar los tiempos de secuencia, para lograr la atenuación de onda.

4.3. Análisis operativo y técnico

Tabla 13

Análisis de campo cercano

DATOS DE MONITOREO: EXPLOSIVO EMULSIÓN GASIFICADA SAN-G				EJE (X)	EJE (Y)
SAN PEDRO SUR	V (mm/s)	D (m)	W (Kg)	De = D/W ^{1/2}	VPP (mm/s)
Disparo (Fecha)	Vel. Pico Partícula	Distancia Monitoreo	(Peso max/retardo)	Distancia escalar	Vel. Pico Partícula
12-jun-14	146 588	30,00	110,00	2,86	146,59
13-jun-14	182 640	24,00	110,00	2,29	182,64
14-jun-14	172 466	24,00	110,00	2,29	172,47
23-jun-14	128 270	24,00	110,00	2,29	128,27
25-jun-14	103 306	24,00	110,00	2,29	103,31
Dupont	142 525	30,00	110,00	2,86	142,53
Dupont	111 372	35,00	110,00	3,34	111,37
Dupont	89 948	40,00	110,00	3,81	89,95
Dupont	74 498	45,00	110,00	4,29	74,50
Dupont	62 941	50,00	110,00	4,77	62,94
Dupont	54 039	55,00	110,00	5,24	54,04
Dupont	47 016	60,00	110,00	5,72	47,02
Dupont	41 364	65,00	110,00	6,20	41,36
Dupont	36 739	70,00	110,00	6,67	36,74
Dupont	32 899	75,00	110,00	7,15	32,90

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

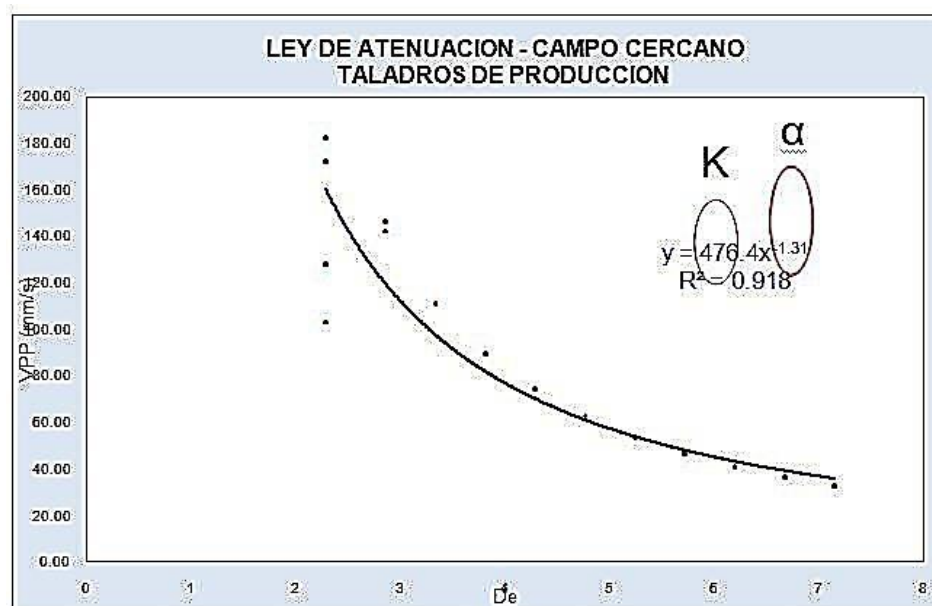


Figura 36. Ley de atenuación - campo cercano
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Tabla 14

Análisis de campo cercano – taladros de producción

Disparo (Fecha)	V (mm/s)	D (m)	W (Kg)	Eje (x) $De = D/W^{1/2}$	Eje (y) VPP (mm/s)
	Vel. Pico Partícula	Distancia Monitoreo	(Peso max/retardo)	Distancia escalar	Vel. Pico Partícula
16-jun-14	4 699	370,07	110,00	35,28	4,70
27-jun-14	7 747	236,06	110,00	22,51	7,75
28-jun-14	28 956	322,82	110,00	30,78	28,96
30-jun-14	7 874	351,38	110,00	33,50	7,87
31-jun-14	4 445	416,13	110,00	39,68	4,45
01-jul-14	4 953	373,26	110,00	35,59	4,95
03-jul-14	3 683	395,56	110,00	37,72	3,68
09-jul-14	5 461	461,12	110,00	43,97	5,46
10-jul-14	8 255	297,99	110,00	28,41	8,26
11-jul-14	3 937	477,45	110,00	45,52	3,94
14-jul-14	7 112	351,28	110,00	33,49	7,11
15-jul-14	4 191	432,94	110,00	41,28	4,19

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

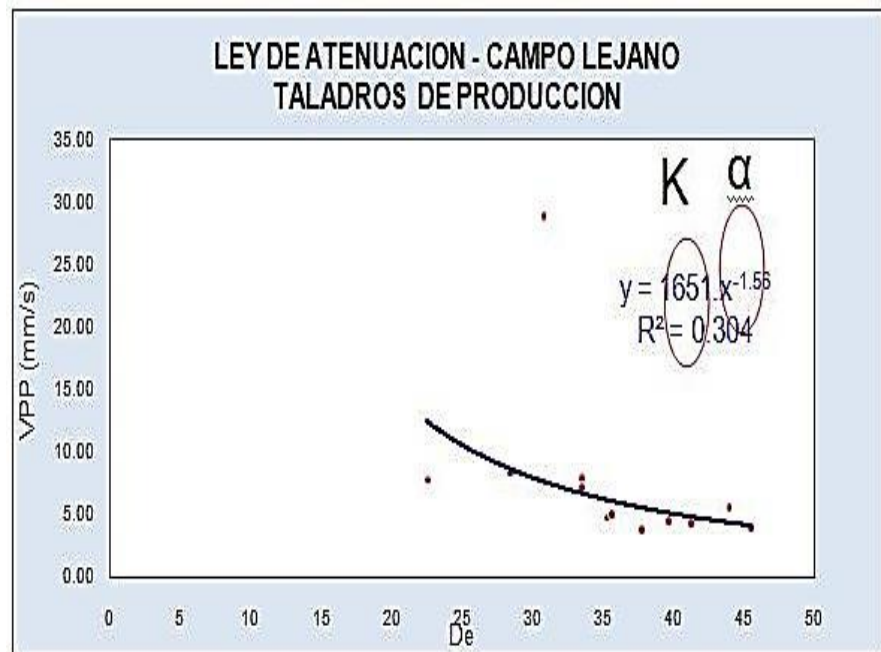


Figura 37. Ley de atenuación - Análisis de campo cercano

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

E, Hoek and M.S. Diederichs, han propuesto esta expresión importante porque relaciona los módulos del macizo y matriz rocosa con un factor de daño, el valor GSI debe ser:

$$\text{GSI} = \text{RMR}_{89} - 5$$

Tabla 15
Determinación del módulo de Hoek y Diederich

RMR ₈₉		50
GSI		45
D		1
Resistencia roca intacta	si	150 Mpa
Módulo del macizo Fig. 1	Em	1 542,0 Mpa
Relación de módulo Fig. 2	Em/Ei	0,11
Módulo de la roca intacta	Ei	14,6 Gpa

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Tabla 16
Estimación en el campo de la resistencia compresiva – Uniaxial de la roca intacta

GRADO	TERMINO	dc MPa	Is MPa	Estimación de la resistencia en el Campo	Ejemplos
R6	Extremadamente dura	>250	>10	Solo se pueden romper esquirlas de la muestra con el martillo de geólogo	Basalto, Diabasa, Gneiss, granito, Chert
R5	Muy dura	100-250	4-10	Se necesitan muchas golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra	Anfibolita, gneiss, grabo, granodiorita, basalto
R4	Dura	50-100	2-4	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra	Caliza, mármol, esquisto, arenisca
R3	Media	25-50	1-2	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo	Concreto, esquisto, sitstone
R2	Débil	5,0-25	"	Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo	Yeso, esquisto, Shale
R1	Muy débil	1,0-5,0	"	Deleznable, bajo golpes fuertes con la parte puntiaguda del martillo de geólogo puede desconcharse con una navaja	Roca alterada, Shale
R0	Extremadamente Débil	0,25-1	"	Rayado por la uña del dedo pulgar	Falla delgada rígida

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

* Grado adecuado por Brown (1981)

** La prueba de carga puntual sobre rocas con una resistencia compresiva uniaxial debajo de 25 MPa, es probable que los resultados son ambiguos.

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD CRÍTICA

ZONA	San Pedro
RMR	50

Q : Índice de calidad - [Bieniawski 1 979](#) (Q):

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

Q = exp ((RMR - 44) / 9) =	1,95	
Velocidad de propagación de onda P (Vp):		
Vp = 3 500 + 1 000 Log (Q) =	3 790,03	m/s
Resistencia roca intacta (si)	150	MPa

Usando la Ley de Hooke y Forsyth; se determina el valor máximo de la velocidad de partícula crítica, sobre la base de las propiedades de la roca del punto de interés:

$$VPPcritico = \sigma_t \times V_p / E_i$$

Esta ecuación se emplea para estimar la aproximación de la Velocidad de partícula crítica de la roca.

Donde:

VPPcritico	Velocidad de partícula crítico - máximo	3 904	mm/s
Σ_t	Resistencia a la tracción	15	Mpa
Vp	Velocidad de la onda P	3 790	m/s
Ei	Módulo de Young	14 563	Gpa

El Umbral del Valor Máximo de la velocidad de partícula para los distintos niveles de daño [Cameron Mckenzie](#).

Tabla 17

Criterio de daño según Cameron Mckenzie

CRITERIO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO	Vpp critico
Mayor 4 * PPVcritico	Intenso fractura miento	15 615
Mayor 1 * PPVcritico	Creación de nuevas fracturas	3 904
Mayor 1 / 4 * PPVcritico	Leve prop fracturas pre-existente	976

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Tabla 18
Resultados de velocidad de partículas

K	476,4	1651,0
Alfa	-1,31	-1,56
Q (Kg)	110,00	110,00
Dist, (m)	VPP (mm/s)	
0,05	524 123	6 912 580
0,10	211 390	2 344 409
0,15	124 281	1 245 463
0,20	85 258	795 109
0,30	50 125	422 400
0,40	34 386	269 662
0,50	25 670	190 388
0,60	20 216	143 258
0,70	16 520	112 637
0,80	13 869	91 456
0,90	11 886	76 105
1,00	10 353	64 570
1,10	9 138	55 649
1,20	8 154	48 586
1,30	7 342	42 883
1,40	6 663	38 201
1,50	6 087	34 303
1,60	5 594	31 017
1,70	5 166	28 218
1,80	4 794	25 811
1,90	4 466	23 723
2,00	4 176	21 899
2,10	3 917	20 294
2,20	3 686	18 874
2,30	3 477	17 609
2,40	3 289	16 478
2,50	3 117	15 461
3,00	2 455	11 634
3,20	2 256	10 520
3,60	1 933	8 754
4,00	1 684	7 427
4,50	1 443	6 180
5,00	1 257	5 244
6,00	990	3 946
7,00	809	3 102
8,00	679	2 519
9,00	582	2 096
10,00	507	1 778

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

4.4. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico, se realizó en base a registros fotográficos, los mismos que fueron procesados con la ayuda del software WipFrag, que nos permite apreciar los tamaños máximos y mínimos de los Blocks analizados, asimismo los porcentajes pasantes para cada caso. El análisis granulométrico fue realizado en todo los proyectos de mineral, donde se pudo observar que el tamaño mínimo fue de 1 586 pulg y máximo de 8 869 pulg, valores encontrados post Voladura. Asimismo, el tamaño mínimo 3 942 pulg y máximo de 16 134 pulg corresponden al análisis durante la remoción del material volado.

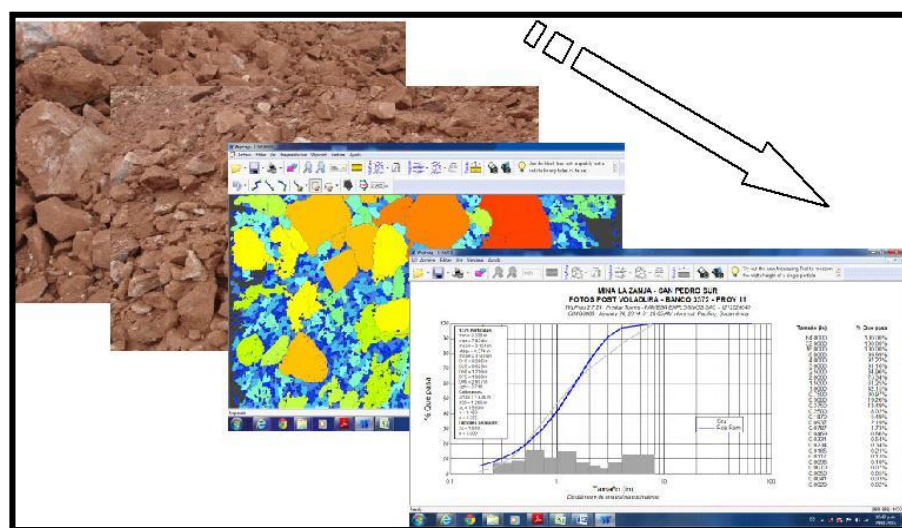


Figura 38. Proceso de análisis mediante el software Wipfrag
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

4.4.1. Proceso y foto análisis de fragmentación teoría de fragmentación de rocas

A continuación se muestran las tablas de resumen de fragmentación de rocas.

Tabla 19
Resumen de análisis de fotografías tomadas inmediatas a la voladura

BANCO	PROY	FECHA DE TOMA	FECHA DE PROCESADO	FOTOS PROCESADAS	MATERIAL	TIPO DE EXPLOSIVO	FRAGMENTACION		
							P80 (Pulg)	Retenido (%)	Pasante < 8"
3372	1	13-jun	14-jun	11	Mineral	SAN-G	3 820	3,18%	96,82%
3372	1	13-jun	14-jun	3	Mineral	HA64	6 882	19,07%	80,93%
3372	2	14-jun	15-jun	8	Mineral	SAN-G	5 383	4,49%	95,51%
3372	4	16-jun	20-jun	10	Mineral	SAN-G	3 116	2,60%	97,40%
3372	6	20-jun	22-jun	5	Mineral	SAN-G	7 415	6,18%	93,82%
3372	7	21-jun	22-jun	6	Mineral	SAN-G	6 390	5,33%	94,68%
3372	8	22-jun	24-jun	9	Mineral	SAN-G	5 894	4,91%	95,09%
3372	9	12-jun	12-jun	2	Mineral	SAN-G	1 586	1,32%	98,68%
3372	9	12-jun	12-jun	2	Mineral	HA64	2 337	1,95%	98,05%
3372	10	25-jun	27-jun	5	Mineral	SAN-G	6 546	5,46%	94,55%
3372	11	27-jun	28 y 29-jun	6	Mineral	SAN-G	4 948	4,12%	95,88%
3372	13	30-jun	31-jun	3	Mineral	SAN-G	6 708	5,59%	94,41%
3372	13	30-jun	31-jun	3	Mineral	HA64	8 451	10,38%	89,62%
3372	14	31-jun	01-jul	6	Mineral	SAN-G	6 303	5,25%	94,75%
3372	21	21-jun	23-jun	3	Mineral	SAN-G	8 869	7,39%	92,61%
3378	24	23-jun	24-jun	3	Mineral	SAN-G	4 634	3,86%	96,14%
3378	25	27-jun	29 y 30-jun	3	Mineral	SAN-G	4 042	3,37%	96,63%
3384	41	28-jun	30-jun	2	Mineral	SAN-G	5 735	4,78%	95,22%

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Tabla 20
Análisis de fotografías tomadas en la remoción del material volado

BANCO	PROY	FECHA DE TOMA	FECHA DE PROCESADO	FOTOS PROCESADAS	MATERIAL	TIPO DE EXPLOSIVO	FRAGMENTACIÓN			
							P80 (Pulg)	Retenido (%)	Pasante < 8"	
3372	1	1	15-jun	17-jun	3	Mineral	SAN-G	5 313	5,31%	94,69%
3372	1	1	14-jun	17-jun	3	Mineral	SAN-G	3 942	3,94%	96,06%
3372	2	3	16-jun	18-jun	4	Mineral	SAN-G	4 452	12,45%	87,55%
3372	4	6	19-jun	03 y 04-jul	2	Mineral	SAN-G	8 804	8,80%	91,20%
3372	4	6	20-jun	15 y 17-jul	2	Mineral/Desm	SAN-G	7 539	7,54%	92,46%
3372	4	7	20-jun	17-jul	2	Mineral/Desm	SAN-G	7 445	7,45%	92,56%
3378	15	38	09-jun	11-jun	2	Mineral/Desm	SAN-G	4 008	4,01%	95,99%
3378	16	40	09-jun	13-jun	3	Mineral	SAN-G	4 452	9,45%	90,55%
3378	16	40	10-jun	15-jun	3	Mineral	SAN-G	5 690	5,69%	94,31%
3378	16	40	11-jun	12-jun	3	Mineral	SAN-G	3 739	3,74%	96,26%
3378	17	42	10-jun	15-jun	3	Mineral	SAN-G	6 834	6,83%	93,17%
3378	17	43	11-jun	17-jul	3	Mineral	SAN-G	6 021	6,02%	93,98%
3378	17	43	12-jun	17-jul	3	Mineral	SAN-G	5 951	15,95%	84,05%
3378	17	43	16-jun	17-jul	2	Mineral	SAN-G	6 134	16,13%	83,87%
3378	18	54	13-jun	18-jun	3	Mineral	SAN-G	4 013	4,01%	95,99%
3378	18	55	13-jun	18-jun	3	Mineral	SAN-G	5 407	5,41%	94,59%
3378	18	57	14-jun	18-jun	3	Mineral	SAN-G	5 628	5,63%	94,37%
3378	18	54	27-jun	17-jul	3	Mineral	SAN-G	6 505	6,51%	93,50%
3378	19	48	12-jun	18-jun	3	Mineral	SAN-G	6 472	6,47%	93,53%
3378	19	45	14-jun	18-jun	3	Mineral	SAN-G	3 607	3,61%	96,39%
3378	21	52	22-jun	17-jul	3	Mineral	SAN-G	6 577	6,58%	93,42%

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos. 2 014

A continuación se muestra la tabla resumen del análisis granulométrico.

Tabla 21
Análisis de fotografías tomadas inmediatas a la voladura

Banco	Proyecto	Fecha de Toma	Fecha de Procesado	Fotos Procesadas	Material	Tipo de Explosivo	FRAGMENTACION		
							P80 (Pulg)	Retenido (%)	Pasante < a 8"
3372	1	13-jun	14-jun	11	Mineral	SAN-G	3 820	3,18%	96,82%
3372	1	13-jun	14-jun	3	Mineral		22 882	19,07%	80,93%
3372	2	14-jun	15-jun	8	Mineral	SAN-G	5 383	4,49%	95,51%
3372	4	16-jun	20-jun	10	Mineral	SAN-G	3 116	2,60%	97,40%
3372	6	20-jun	22-jun	5	Mineral	SAN-G	7 415	6,18%	93,82%
3372	7	21-jun	22-jun	6	Mineral	SAN-G	6 390	5,33%	94,68%
3372	8	22-jun	24-jun	9	Mineral	SAN-G	5 894	4,91%	95,09%
3372	9	12-jun	12-jun	2	Mineral	SAN-G	1 586	1,32%	98,68%
3372	9	12-jun	12-jun	2	Mineral		2 337	1,95%	98,05%
3372	10	25-jun	27-jun	5	Mineral	SAN-G	6 546	5,46%	94,55%
3372	11	27-jun	28 y 29-jun	6	Mineral	SAN-G	4 948	4,12%	95,88%
3372	13	30-jun	31-jun	3	Mineral	SAN-G	6 708	5,59%	94,41%
3372	13	30-jun	31-jun	3	Mineral		12 451	10,38%	89,62%
3372	14	31-jun	01-jul	6	Mineral	SAN-G	6 303	5,25%	94,75%
3372	21	21-jun	23-jun	3	Mineral	SAN-G	8 869	7,39%	92,61%
3378	24	23-jun	24-jun	3	Mineral	SAN-G	4 634	3,86%	96,14%
3378	25	27-jun	29 y 30-jun	3	Mineral	SAN-G	4 042	3,37%	96,63%
3384	41	28-jun	30-jun	2	Mineral	SAN-G	5 735	4,78%	95,22%

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

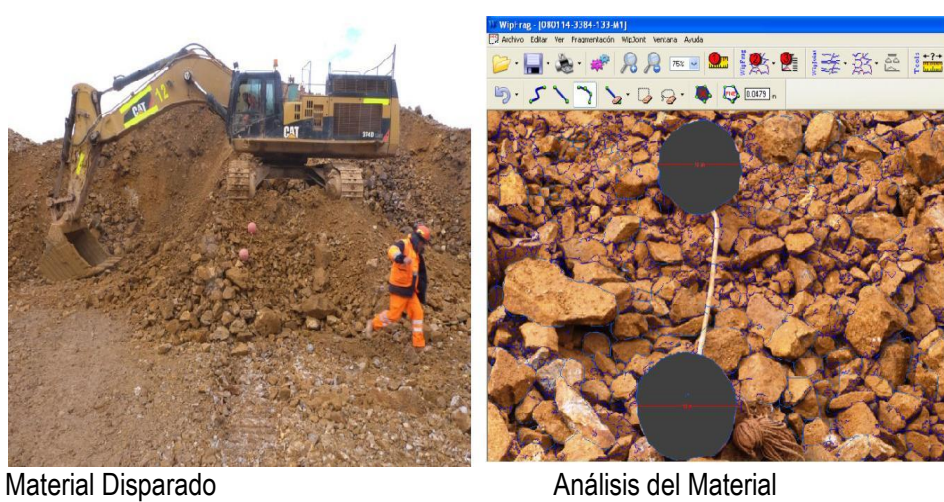
Tabla 22
Análisis de fotografías tomadas en la remoción del material volado

Banco	Proyecto	Polígono	Fecha de toma	Fecha de Procesado	Fotos Procesadas	Material	Tipo de explosivo	Fragmentación		
								P80 (pulg)	Retenido (%)	Pasante < a 10"
3372	1	1	15-jun	17-jun	3	Mineral	SAN-G	5 313	5,31%	94,69%
3372	1	1	14-jun	17-jun	3	Mineral	SAN-G	3 942	3,94%	96,06%
3372	2	3	16-jun	18-jun	4	Mineral	SAN-G	12 452	12,45%	87,55%
3372	4	6	19-jun	03 y 04-jul	2	Mineral	SAN-G	8 804	8,80%	91,20%
3372	4	6	20-jun	15 y 17-jul	2	Mineral / Desmonte	SAN-G	7 539	7,54%	92,46%
3372	4	7	20-jun	17-jul	2	Mineral / Desmonte	SAN-G	7 445	7,45%	92,56%
3378	15	38	09-jun	11-jun	2	Mineral / Desmonte	SAN-G	4 008	4,01%	95,99%
3378	16	40	09-jun	13-jun	3	Mineral	SAN-G	9 452	9,45%	90,55%
3378	16	40	10-jun	15-jun	3	Mineral	SAN-G	5 690	5,69%	94,31%
3378	16	40	11-jun	12-jun	3	Mineral	SAN-G	3 739	3,74%	96,26%
3378	17	42	10-jun	15-jun	3	Mineral	SAN-G	6 834	6,83%	93,17%
3378	17	43	11-jun	17-jul	3	Mineral	SAN-G	6 021	6,02%	93,98%
3378	17	43	12-jun	17-jul	3	Mineral	SAN-G	15 951	15,95%	84,05%
3378	17	43	16-jun	17-jul	2	Mineral	SAN-G	16 134	16,13%	83,87%
3378	18	54	13-jun	18-jun	3	Mineral	SAN-G	4 013	4,01%	95,99%
3378	18	55	13-jun	18-jun	3	Mineral	SAN-G	5 407	5,41%	94,59%
3378	18	57	14-jun	18-jun	3	Mineral	SAN-G	5 628	5,63%	94,37%
3378	18	54	27-jun	17-jul	3	Mineral	SAN-G	6 505	6,51%	93,50%
3378	19	48	12-jun	18-jun	3	Mineral	SAN-G	6 472	6,47%	93,53%
3378	19	45	14-jun	18-jun	3	Mineral	SAN-G	3 607	3,61%	96,39%
3378	21	52	22-jun	17-jul	3	Mineral	SAN-G	6 577	6,58%	93,42%

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014



Figura 39. Proceso de voladura y remoción de material volado
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014



Material Disparado

Análisis del Material

Figura 40. Material disparado y análisis de material
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

MINA LA ZANJA – SAN PEDRO SUR
BANCO 3384 – PROY 040
 WIPFRAG 27.27 Marcos Mamani – FAMESA EXPLOSIVOS SAC 1212525040
 Fusiónada Análisis (2 imágenes) Julio 2014, 04:50:33 PM Hora est. Pacifico, Sudameric

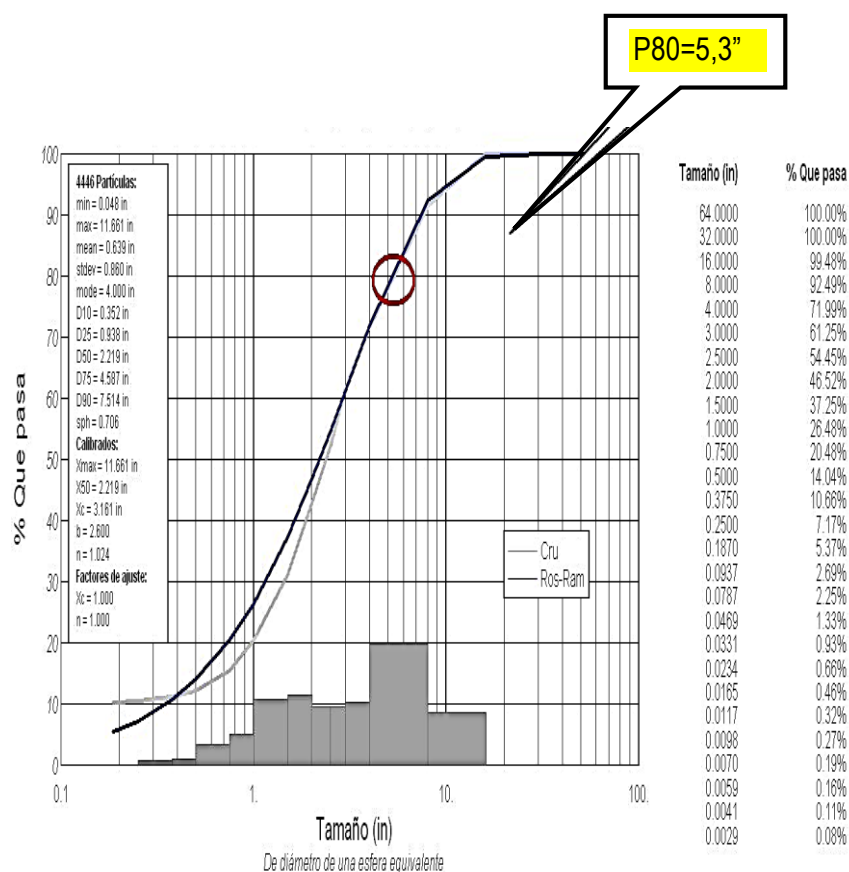


Figura 41. Resultado de análisis de fragmentación – Material disparado
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Los niveles de piso llegan al banco requerido, no se tiene problemas de piso como se ve en la imagen, ya que se encuentra en relleno 0,5 y 0,3m.



Figura 42. Nivel de piso
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

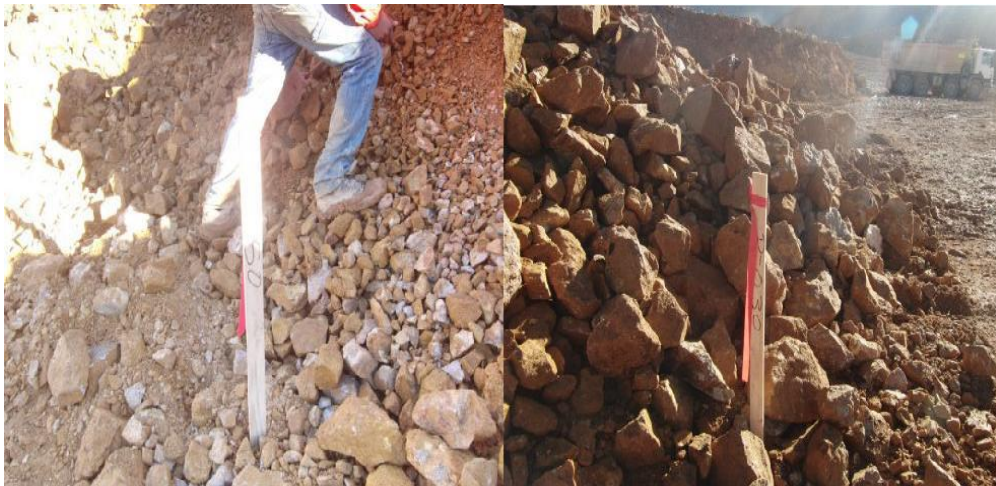


Figura 43. Nivel de piso
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

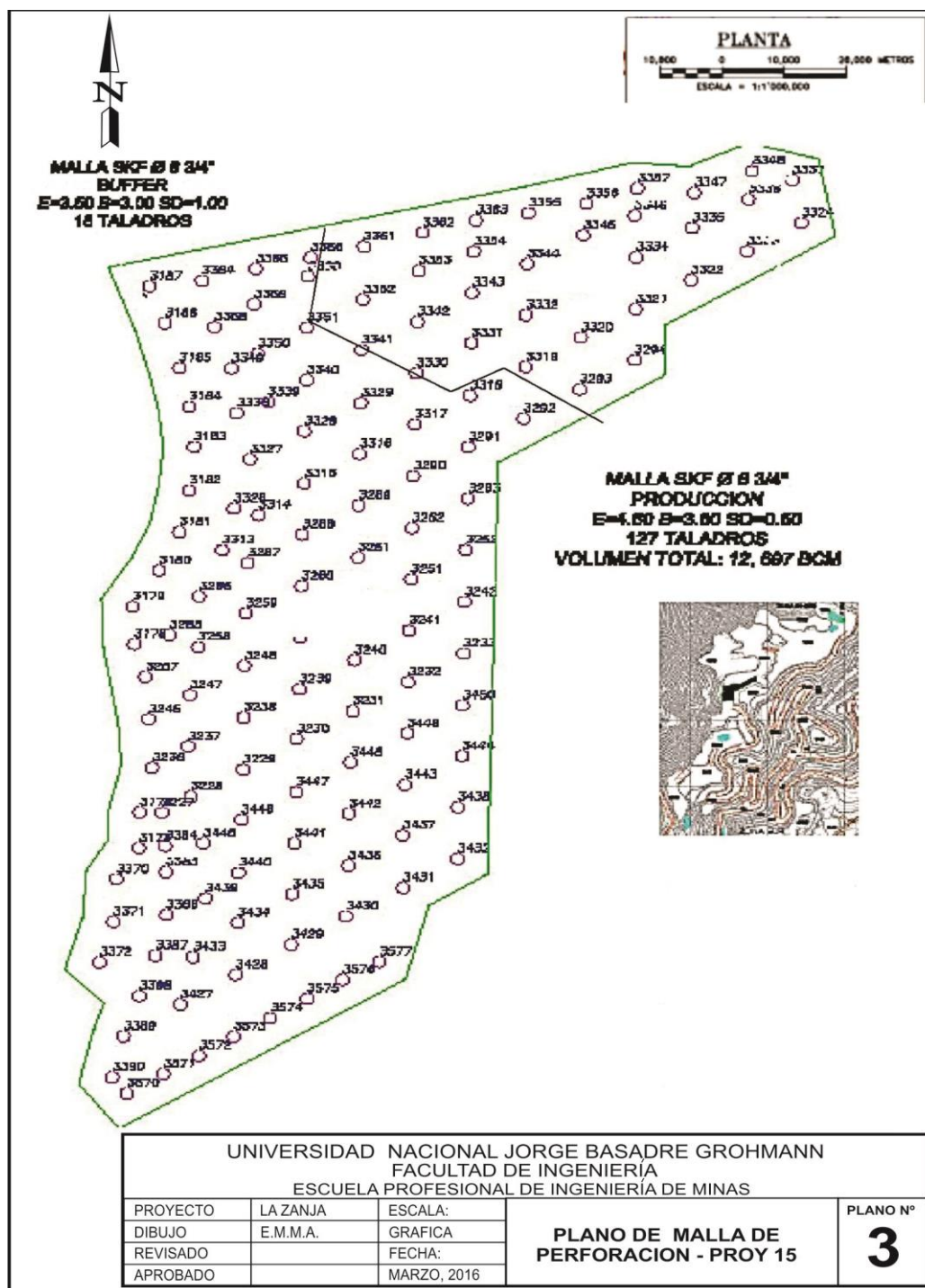


Figura 44. Diseño de malla – Proyecto N° 15
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

FECHA DE TOMA: 03 JULIO
 FECHA DE ANÁLISIS: 04 JULIO
 Fotos tomadas inmediatamente después de la voladura.

FOTO PANORAMICA 3372-15 / ZONA CARGADA CON HA – retardo pirotécnico



PROCESO DE ANÁLISIS MEDIANTE EL SOFTWARE WIPFRAG

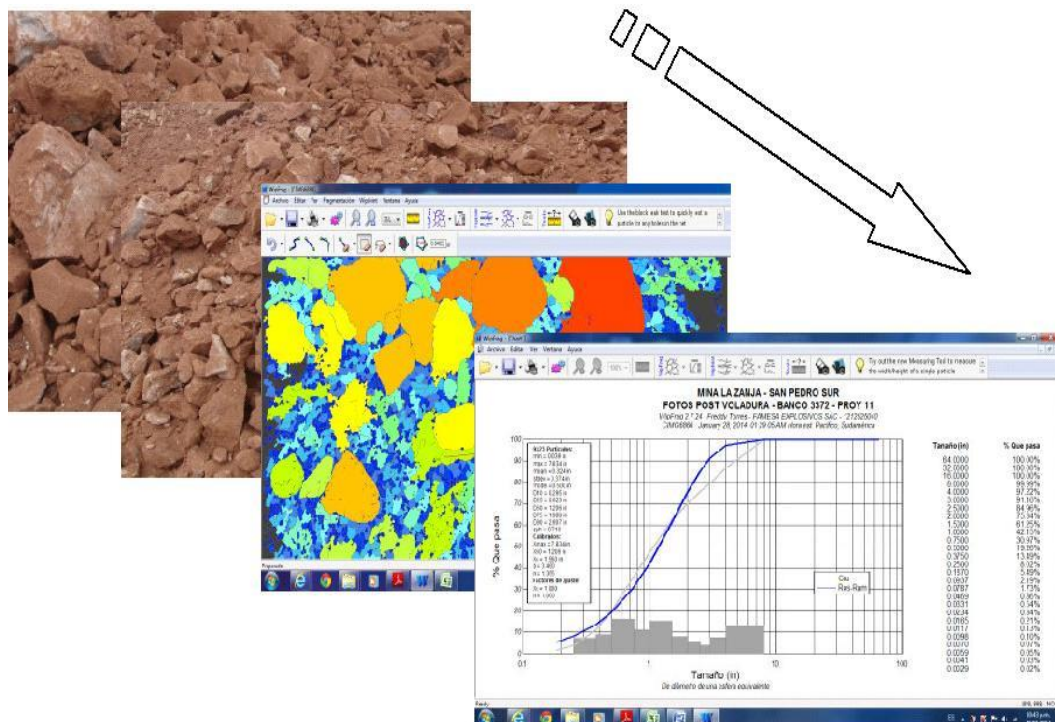


Figura 45. Análisis granulométrico
 Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Resultado obtenido de dos (02) fotografías tomadas superficialmente después de la voladura, en esta zona se cargó con HA 64 y la iniciación se hizo con retardo pirotécnico Exanel Dual.

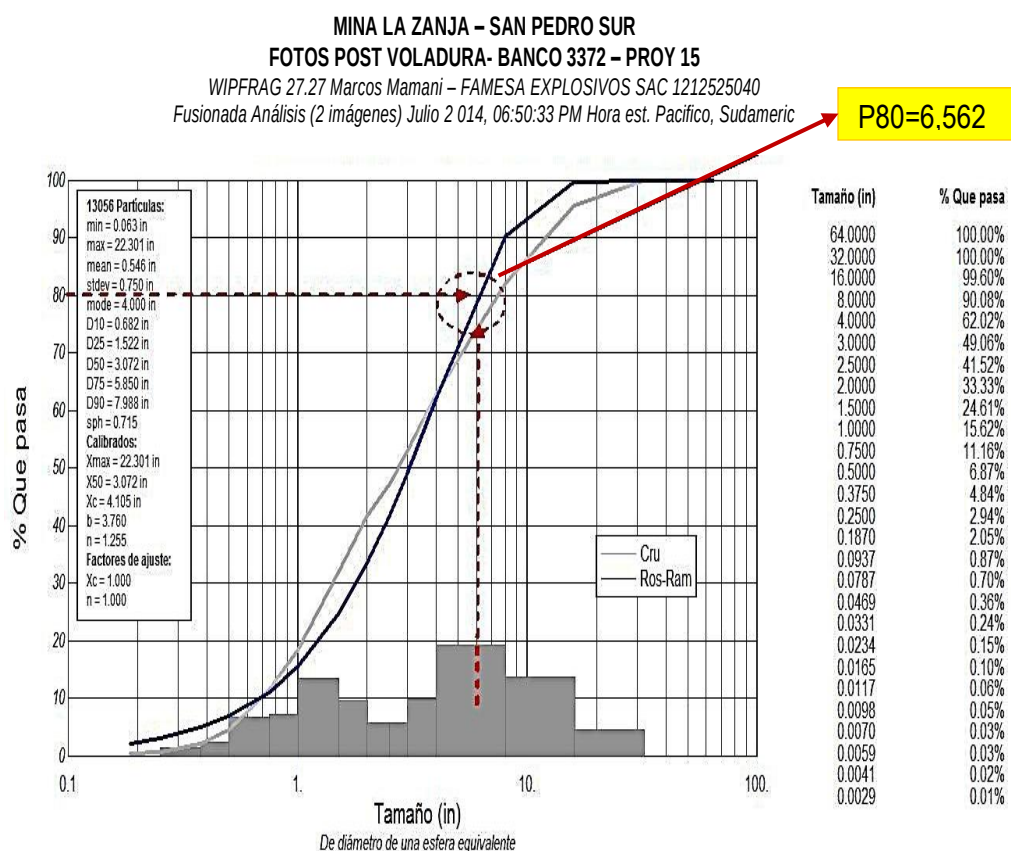


Figura 46. Monitoreo e vibraciones – post disparo
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

En el análisis cualitativo visual del proyecto después de la voladura nos muestra el tamaño de fragmentos con los explosivos SAN-G y HA-64.



Figura 47. Fragmentación – Post disparo I
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Se puede apreciar claramente la diferencia en esponjamiento y fragmentación en las dos zonas cargadas y disparadas en las mismas condiciones, en diseño de carga, malla y tipo roca.



Figura 48. Fragmentación – post disparo II
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

4.5. Análisis de resultados de parámetros y consumo de explosivos

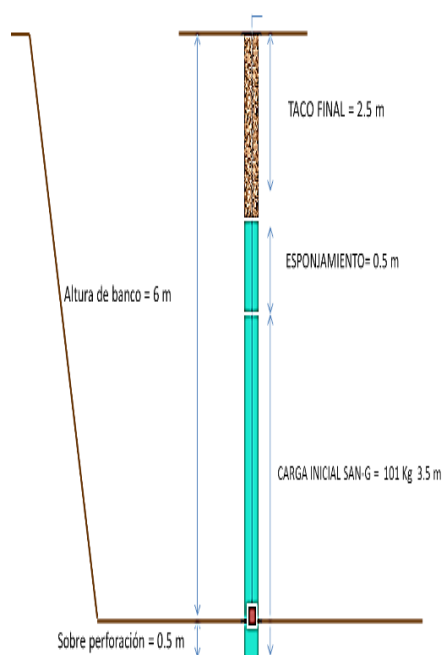
El consumo total de explosivos SAN-G durante todas las pruebas fue de 394 282 t, el mismo que ha permitido cargar un total de 3 083 taladros en los proyectos de prueba del producto. Cabe señalar que durante las pruebas, una parte de los proyectos también fueron cargados con HA-64 y HA-46.

4.6. Análisis de factores de potencia y evaluación económica

Se ha calculado el factor de potencia para cada proyecto y por tipo de explosivo con la finalidad de realizar un comparativo entre los sectores cargados con SAN-G. Los factores de potencia obtenidos en los proyectos cargados con **SAN-G** es de **0,43 kg/t**, y con **HA** es de **0,51 kg/t**, a lo que se observa una reducción de hasta un 7,5 % el factor de potencia.

Para el cálculo se ha considerado como densidad promedio de 2 374 t/m³ y en función a la malla y longitud de taladro.

Diseño de carga con SAN-G para taladros con agua *DENSIDAD FINAL: 1.1 g/cc*



Diseño de carga con HA-64 taladros con agua *DENSIDAD: 1.30 g/cc*

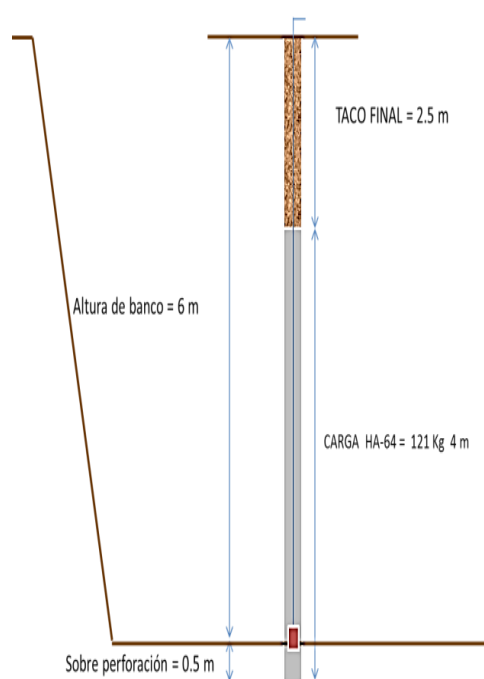


Figura 49. Nuevo diseño de carga para taladros de producción
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

A continuación se muestra la tabla de factores de potencia y costo por tonelada, los mismos que se presentan por proyecto y tipo de explosivo.

Tabla 23
Consumo de SAN-G y HA ANFO y costo de explosivo por disparo

CONSUMO DE SAN-G Y HA - ANFO POR PROYECTO DISPARADO : JUNIO												COSTO POR DISPARO JUNIO 2015											
ITEM	FECHA DE DISPARO	BANCO	PROYEC.	TIPO DE EXPLOSIVO	NUMERO DE TALADROS	DIAMETRO Pulg	MALLA TRIANG m	TONELAJE TOTAL ROTO	TONELAJE ROTO	TOTAL EXPLOS. Kgs	FACTOR DE POTENCIA Kgs/t	SANG Kgs	SAN Kgs	N.A. Kgs	D2 Gls	VALOR POR PRODUCTO USA \$/DISPARO					S/m	DIFERENCIA POR TIPO DE EXPLOSIVO	
																SANG	SAN	NA	D2	TOTAL \$			
1	06/06/2015	3384	40	SANG	105	63/4	5x4.33	43.876	24199	10155	0.43	10155				7210	0	0	7210	0.30		0.02	
				HA-64	97				19557	8.854	0.46	0	5512	3329	66	0	3693	2264	290	6247.2	0.32		
2	07/06/2015	3378	15	SANG	141	63/4	4.5x3.6	23.557	23557	14408	0.61	14408				10230	0	0	10230	0.43			
				HA-64	19	63/4	4.6x3.6	19.564	15354	6612	0.43	6612				4695	0	0	4695	0.31		-0.01	
3	08/06/2015	3378	15	SANG	67	63/4	4.6x3.6	19.564	4322	1883	0.44	0	1131	658	17	0	757.8	447.4	74.8	1280.01	0.30		
				HA-46	4	63/4	4.6x3.6	22.755	22151	11667	0.53	11667				8284	0	0	8284	0.37		0.01	
4	09/06/2015	3378	17	SANG	153	63/4	4.6x3.6	40.349	35.882	12.363	0.34	12.363				8.815	0	0	8.815	0.25		0.08	
				HA-64	19				4.457	2.057	0.46	0	1234	773	15	0	826	549	60	1.435	0.32		
5	10/06/2015	3378	10	SANG	73	63/4	4.6x3.6	21.942	14087	6.808	0.48	6.808				4.854	0	0	4.854	0.34		0	
				HA-64/46	52				7.666	3.788	0.48	0	1606	2.145	42	0	1.003	1.523	169	2.588	0.34		
7	12/06/2015	3378	18	SANG	110	63/4	4.6x3.6	27.508	14.75	10.31	0.7	10.31				7.351	0	0	7.351	0.5		0.03	
				HA-64	96				12.718	9.673	0.76	0	6.808	3.637	73	0	3.335	2.582	291	6.759	0.63		
8	13/06/2015	3378	1	SANG	171	63/4	4.6x3.6	46.832	43.855	16.364	0.38	16.364				11.668	0	0	11.668	0.27		0.05	
				HA-64	15				3.777	1.716	0.45	0	1.03	648	13	0	690	459	52	1.2	0.32		
9	14/06/2015	3372	2	SANG	131	63/4	4.6x3.6	33.388	30.374	14.85	0.49	14.85				10.688	0	0	10.688	0.35		0.02	
				HA-64	13				3.014	1.541	0.81	0	616	388	17	0	412	614	68	1.097	0.36		
10	15/06/2015	3378	14	SANG	96	63/4	4.6x3.6	21.14	21.14	7.9	0.37	7.9				5.633	0	0	5.633	0.27			
				HA-64					0			0				0			0				
11	16/06/2015	3378	4	SANG	33	63/4	4.6x3.6	13.669	6.174	4.128	0.67	4.128				2.544	0	0	2.544	0.48		-0.13	
				HA-45	44				7.495	3.638	0.49	0	1.455	2.052	41	0	974	1.457	162	2.594	0.35		
12	20/06/2015	3372	5	SANG	102	63/4	4.6x3.6	35.297	18.55	9.853	0.52	9.853				7.025	0	0	7.025	0.37		-0.03	
				HA-46	9				10.447	7.75	0.47	0	3.119	4.473	9	0	2.008	3.176	356	6.013	0.34		
13	21/06/2015	3372	7	SANG	119	63/4	4.6x3.6	26.674	26.674	14.069	0.53	14.069				10.031	0	0	10.031	0.38			
				HA-46					0			0				0			0				
14	21/06/2015	3378	21	SANG	54	63/4	4.6x3.6	13.616	13.515	5.059	0.37	5.059				3.507	0	0	3.607	0.26			
				HA-46	101	63/4	4.6x3.6	36.531	17.836	9.664	0.64	9.664				6.89	0	0	6.89	0.39		0.02	
15	22/06/2015	3372	8	SANG	83	63/4	4.6x3.6	36.531	18.555	10.779	0.58	0	4.312	6.079	121	0	2.337	4.316	483	7.535	0.41		
				HA-46																			
16	23/06/2015	3372	24	SANG	153	63/4	4.6x3.6	36.323	36.323	16.517	0.47	16.517				11.777	0	0	11.777	0.33			
				HA-46	73	63/4	4.6x3.6	36.269	23.373	12.31	0.6	12.31				8.783	0	0	0.783	0.3		-0.01	
17	24/06/2015	3372	9	SANG	110	63/4	4.6x3.6	36.269	14.89	7.61	0.61	0	3.644	4.292	85	0	2.033	3.047	339	5.425	0.36		
				HA-46																			
18	25/06/2015	3372	10	SANG	148	63/4	4.6x3.6	31.926	31.925	15.355	0.48	15.355				10.948	0	0	10.948	0.34			
				HA-46	62	63/4	4.6x3.6	36.885	13.087	6.167	0.47	6.167				4.397	0	0	4.397	0.34		0.03	
19	27/06/2015	3372	11	SANG	100	63/4	4.6x3.6	36.885	22.786	11.003	0.61	0	4.041	6.544	130	0	0.407	4.04	519	6.272	0.36		
				HA-46																			
20	27/06/2015	3378	25	SANG	109	63/4	4.6x3.6	25.485	25.435	10.955	0.43	10.955				7.811	0	0	7.811	0.31			
				HA-46	77	63/4	4.6x3.6	19.127	15.341	5.468	0.36	5.468				3.699	0	0	3.899	0.25		0.05	
21	28/06/2015	3384	41	SANG	32	63/4	4.6x3.6	20.013	3.788	1.615	0.43	0	646	911	18	0	432	647	72	1.151	0.3		
				HA-46	19				7.11	3.05	0.64	3.05				2.751	0	0	2.751	0.39		0.02	
22	30/06/2015	3372	13	SANG	58	63/4	4.6x3.6	20.013	12.997	7.564	0.69	0	4.638	2.844	57	0	3.033	2.019	228	5.255	0.41		
				HA-64																			
23	31/06/2015	3372	14	SANG	112	63/4	4.6x3.6	24.607	24.507	12.091	0.49	12.091				8.621	0	0	8.621	0.35			
				HA-64					657.333														

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 015

PROMEDIO AHORRO POR TONELADA 0,02 US\$/t

JUNIO 2 015

TOTAL TALADROS CARGADOS CON SAN G	2 356
TOTAL TALADROS CARGADOS CON HA	806

Tabla 24

Consumo de SAN-G y HA ANFO y costo de explosivo por disparo

CONSUMO DE SAN-G Y HA - ANFO POR PROYECTO DISPARADO : JULIO												COSTO POR DISPARO JULIO 2015											
ITEM	FECHA DE DISPARO	BANCO	PROYEC.	TIPO DE EXPLOSIVO	NUMERO DE TALADROS	DIAMETRO Pulg	MALLA TRIANG m	TONELAJE TOTAL ROTO t	TONELAJE ROTO t	TOTAL EXPLOS. Kgs	FACTOR DE POTENCIA Kgst	SANG Kgs	SAN Kgs	N.A. Kgs	D2 Gls	VALOR POR PRODUCTO USA \$/DISPARO					S/tm	DIFERENCIA POR TIPO DE EXPLOSIVO \$/t	
																SANG	SAN	NA	D2	TOTAL \$			
24	01/07/2015	3378	25	SANG	101	63/4	4.6x3.5	22.58	22.57	9.01	0.4	90.00				5.42	0		0	6.42	0.28		
25	02/07/2015	3366	1	SANG	37	63/4	4.6x3.5	8.18	8.18	4.20	0.51	4.20				3.00	0		0	3.00	0.37		
26	03/07/2015	3372	15	SANG	111	63/4	4.6x3.5	30.11	22.48	10.94	0.49	10.94				7.58	0		0	7.80	0.35	0.06	
				HA-64	34				7.64	4.40	0.6	0	2.0	1.68	33	0	1.734	1.19	132	3.11	0.41		
27	04/07/2015	3366	2	SANG	89	63/4	4.6x3.5	27.51	16.69	9.81	0.56	9.81				5.994	0		0	6.99	0.4	0.02	
				HA-46	51				10.82	6.05	0.6	0	3.63	2.27	45	0	2.423	1.61	180	4.22	0.42		
28	09/07/2015	3366	3	SANG	150	63/4	4.6x3.5	31.12	31.42	16.74	0.83	16.71				11.92	0		0	11.92	0.38		
29	10/07/2015	3372	158	SANG	92	63/4	4.6x3.5	40.27	26.09	11.63	0.45	11.63				5.29	0		0	8.29	0.32	-0.01	
				HA-64	65				14.15	6.18	0.44	0	3.71	2.33	46	0	2.43	1.65	184	4.32	0.3		
30	11/07/2015	3366	4	SANG	155	63/4	4.6x3.5	47.14	32.48	16.85	0.52	16.85				12.01	0		0	12.01	0.37	0.04	
				HA-64/46	70				14.56	8.36	0.57	0	3.34	4.71	94	0	2.23	3.35	375	6.56	0.41		
31	13/07/2015	3366	3	SANG	252	63/4	4.6x3.5	54.48	54.16	26.88	0.6	26.88				19.17	0		0	19.17	0.35		
32	14/07/2015	3450	1	SANG	156	63/4	4.6x3.5	16.35	16.31	8.85	0.54	8.85				5.31	0		0	6.39	0.39		
33	14/07/2015	3372	13	SANG	100	63/4	4.6x3.5	41.83	41.86	19.59	0.47	19.59				13.97	0		0	13.87	0.33		
34	15/07/2015	3366	5	SANG	143	63/4	4.6x3.5	32.83	32.52	17.45	0.53	17.45				12.44	0		0	12.44	0.38		
35	19/07/2015	3366	3	SANG	48	63/4	4.6x3.5	46.15	11.08	5.07	0.46	5.07				3.61	0		0	3.61	0.33	0.08	
				HA-46	162				36.07	20.27	0.68	0	12.13	7.62	151	0	3.10	5.14	603	14.17	0.4		
								398.54															

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 015

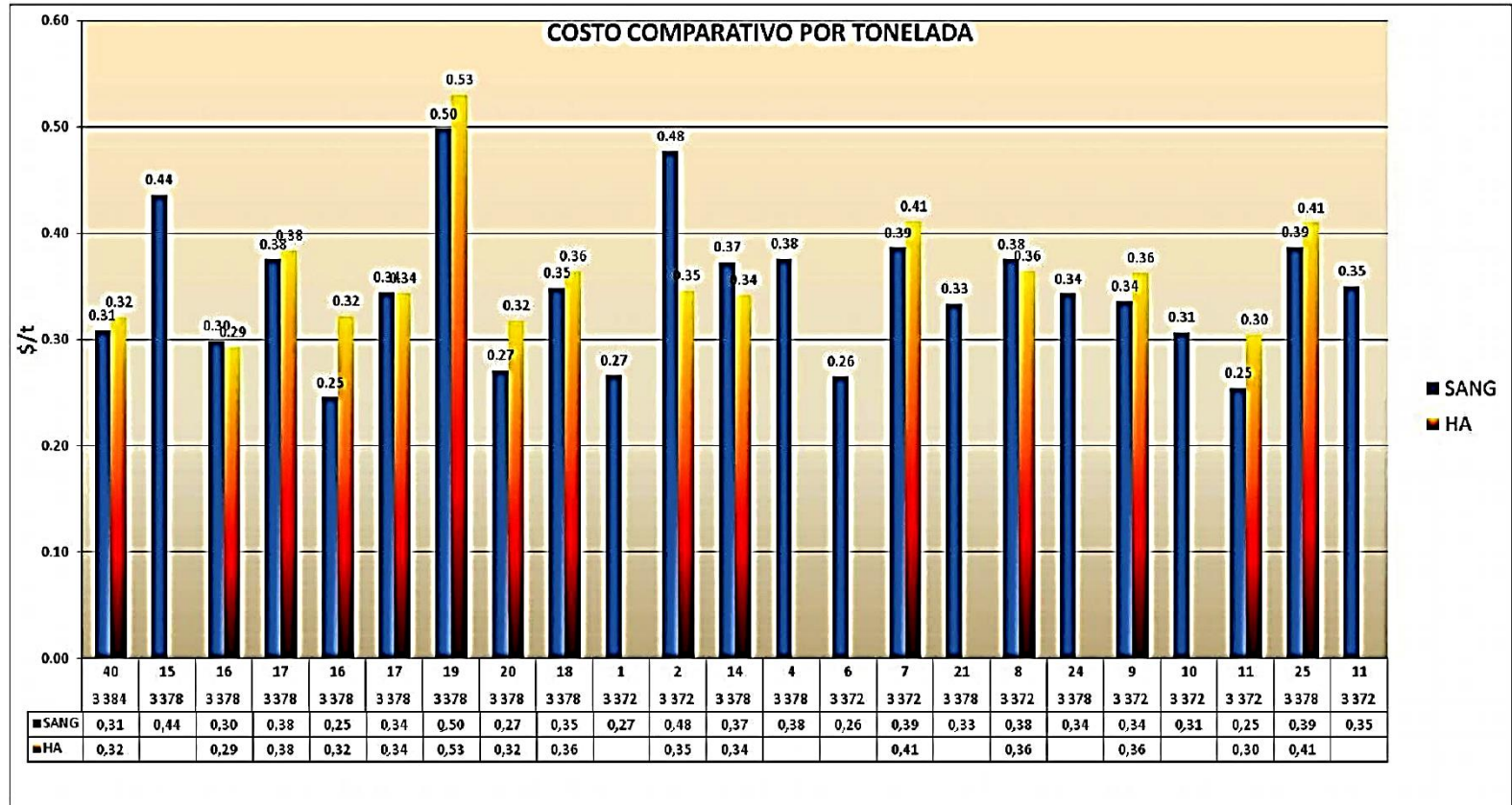


Figura 50. Costo comparativo por tonelada SAN-G-HA-Junio 2 015

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 015

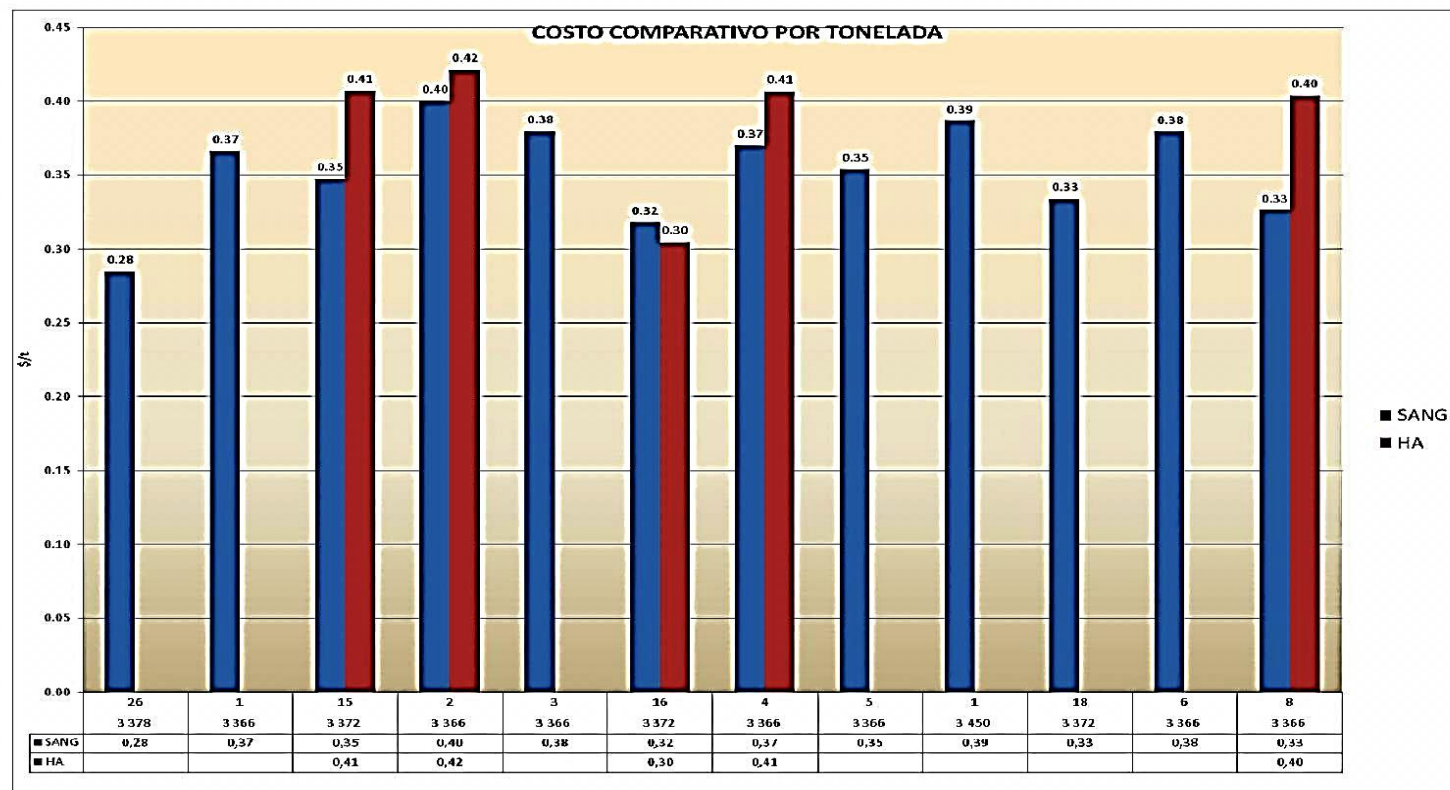


Figura 51. Costo comparativo por tonelada SAN-G-HA-Julio 2 014
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

4.7. Cálculo de parámetros de diseño de carga y análisis de costos por cambio de explosivo

Se realizó el cálculo según los parámetros de perforación y diseño de carga donde se hace la comparación de factor de potencia y costo de voladura por taladro, haciendo la proyección anual de ahorro con el uso de la SAN-G frente a los heavy ANFOS actuales usado en desmante y mineral.

Tabla 25

Parámetros de diseño de perforación en desmante

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN	
Diámetro de Taladro (pulg.)	6 ¾"
Longitud de Taladro (m)	6
Sobre perforación (m)	0,5
Espaciamiento (m)	5,2
Burden (m)	4,6
Densidad de la roca (t/m ³)	2,37

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Cálculo de volumen roto por taladro:

$$volumen = burden \times espaciamiento \times altura de taladro \quad [1]$$

$$volumen = 4,6 \, m \times 5,2 \, m \times 6 \, m$$

$$volumen \, roto = 144 \, m^3$$

Cálculo de Tonelaje roto por taladro:

$$\text{Tonelaje roto} = \text{volumen} \times \text{densidad de la roca} \quad [2]$$

$$\text{Tonelaje roto} = 144 \text{ m}^3 \times 2.37 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Tonelaje roto} = 340 \text{ t}$$

Tabla 26

Parámetros de diseño de perforación en mineral

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN	
Diámetro de Taladro (pulg.)	6 ¾"
Longitud de Taladro (m)	6
Sobre perforación (m)	0,5
Espaciamiento (m)	4,6
Burden (m)	3,6
Densidad de la roca (t/m³)	2,5

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Cálculo de Volumen roto por taladro:

$$\text{volumen} = \text{burden} \times \text{espaciamiento} \times \text{altura de taladro} \quad [3]$$

$$\text{volumen} = 3,6 \text{ m} \times 4,6 \text{ m} \times 6 \text{ m}$$

$$\text{volumen roto} = 99.3 \text{ m}^3$$

Cálculo de tonelaje roto por taladro:

$$\text{Tonelaje roto} = \text{volumen} \times \text{densidad de la roca} \quad [4]$$

$$\text{Tonelaje roto} = 99.3 \text{ m}^3 \times 2.5 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Tonelaje roto} = 248.5 \text{ t}$$

Tabla 27

Cálculo de costos de explosivo por taladro de HA 46 vs SAN-G en desmonte

PARÁMETROS DE DISEÑO DE CARGA POR TALADRO			PRECIOS DE AGENTES DE VOLADURA Y ACCESORIOS	
	HA-64	SAN-G		
ALTURA DE CARGA (m)	4	4	EMULSIÓN MATRIZ (\$/Kg)	0,67
DENSIDAD DE EXPLOSIVO (gr/cc)	1,22	0,95	NITRATO (\$/Kg)	0,68
DIÁMETRO DE TALADRO (pulg)	63/4	63/4	DIESEL (\$/Kg)	1,35
			SAN-G (\$/Kg)	0,713
			BOOSTER (\$/UND)	3,09
			FANEL DUAL (\$/UND)	2,48

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

CÁLCULO DE CARGA Y COSTO DE EXPLOSIVO HA-46

Cálculo de carga lineal HA 46:

$$carga\ lineal = \emptyset\ de\ tal^2 \times \rho\ exp. \times 0,507$$

$$carga\ lineal = 6,75^2\ pulg \times 1,22\ gr/cc \times 0,507$$

$$carga\ por\ metro\ lineal = 28\ kg$$

Cálculo de carga por taladro HA 46:

$$carga\ por\ taladro = carga\ lineal \times altura\ de\ carga \quad [5]$$

$$carga\ por\ taladro = 28\ kg \times 4\ m$$

$$carga\ por\ taladro = 113\ kg$$

Cálculo de Factor de Potencia HA-46 (kg/t):

$$FP = \frac{Explosivo\ Total\ x\ taladro}{Tonelaje\ roto\ por\ taladro} \quad [6]$$

$$FP = \frac{113}{340} = 0,33\ kg/t$$

Cálculo de costo explosivo HA 46 por taladro:

$$\text{Total explosivo } x \text{ taladro} = 113 \text{ kg}$$

$$\text{Total Emulsion} = 113 \times 0,40 = 45 \text{ kg}$$

$$\text{costo Emulsion por taladro} = 45 \times 0,67 = \mathbf{30 \text{ \$ / tal}}$$

$$\text{Total Anfo} = 113 \times 0,60 = 68 \text{ kg}$$

$$\text{Total nitrato} = 68 \times 0,94 = 63,6 \text{ kg}$$

$$\text{costo Nitrato por taladro} = 64 \times 0,68 = \mathbf{43 \text{ \$ / tal}}$$

$$\text{Total diesel} = 68 \times 0,06 = 4,06 \text{ kg}$$

$$\text{costo Diesel por taladro} = 4,06 \times 1,35 = \mathbf{5,4 \text{ \$ / tal}}$$

$$\text{Costo HA}_{46} \text{ por taladro} = 30 + 43 + 5,4 = 78,5 \text{ \$ / tal}$$

$$\text{Costo total por taladro} = \text{costo HA}_{46} + \text{booster} + \text{fanel}$$

$$\text{Costo total por taladro} = 78,5 + 3,09 + 2,48 = 84,57 \text{ \$ / tal}$$

Cálculo de costo de explosivo (\$/t):

$$\text{Costo de unitario de explosivo} = \frac{\text{Costo total por taladro}}{\text{Tonelaje roto por taladro}} \quad [7]$$

$$\text{Costo unitario de explosivo} = \frac{84,57}{340} = 0,25 \text{ \$ / t}$$

CÁLCULO DE CARGA Y COSTO DE EXPLOSIVO SAN-G

Cálculo de carga lineal SAN-G

$$\text{carga lineal} = \emptyset \text{ de tal}^2 \times \rho \text{ exp.} \times 0,507$$

$$\text{carga lineal} = 6,75^2 \text{ pulg} \times 0,95 \text{ gr/cc} \times 0,507$$

$$\text{carga por metro lineal} = 21.9 \text{ kg/m}$$

Cálculo de carga por taladro SAN-G

$$\text{carga por taladro} = \text{carga lineal} \times \text{altura de carga} \quad [8]$$

$$\text{carga por taladro} = 21,9 \text{ kg} \times 4 \text{ m}$$

$$\text{carga por taladro} = 88 \text{ kg}$$

Cálculo de Factor de Potencia SAN-G (kg/t):

$$FP = \frac{\text{Explosivo Total} \times \text{taladro}}{\text{Tonelaje roto por taladro}} \quad [9]$$

$$FP = \frac{88}{340} = 0,26 \text{ kg/t}$$

Cálculo de costo explosivo SAN-G por taladro

$$\text{Total explosivo} \times \text{taladro} = 88 \text{ kg}$$

$$\text{Total costo SANG por taladro} = 88 \times 0,713 = 62,7 \text{ \$/tal}$$

$$\text{Costo total por taladro} = \text{costo SANG} + \text{booster} + \text{fanel}$$

$$\text{Costo total por taladro} = 62,7 + 3,09 + 2,48 = 68,27 \text{ \$/tal}$$

Calculo de costo unitario de explosivo (\$/t):

$$\text{Costo unitario de explosivo} = \frac{\text{Costo total por taladro}}{\text{Tonelaje roto por taladro}} \quad [10]$$

$$\text{Costo unitario de explosivo} = \frac{68,27}{340} = 0,20 \text{ \$/t}$$

Tabla 28

Cálculo de costos de explosivo por taladro de HA 55 vs SAN-G en mineral seco

PARÁMETROS DE DISEÑO DE CARGA POR TALADRO			PRECIOS DE AGENTES DE VOLADURA Y ACCESORIOS	
	HA-55	SAN-G		
ALTURA DE CARGA (m)	4	4	EMULSIÓN MATRIZ (\$/Kg)	0,67
DENSIDAD DE EXPLOSIVO (gr/cc)	1,29	1,05	NITRATO (\$/Kg)	0,68
DIÁMETRO DE TALADRO (pulg)	63/4	63/4	DIESEL (\$/Kg)	1,35
			SAN-G (\$/Kg)	0,71
			BOOSTER (\$/UND)	3,09
			FANEL DUAL (\$/UND)	2,48

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

CÁLCULO DE CARGA Y COSTO DE EXPLOSIVO HA-55

Cálculo de carga lineal HA 55:

$$carga\ lineal = \emptyset\ de\ tal^2 \times \rho\ exp. \times 0,507$$

$$carga\ lineal = 6,75^2\ pulg \times 1,29\ gr/cc \times 0,507$$

$$carga\ por\ metro\ lineal = 30\ kg/m$$

Cálculo de carga por taladro HA 55:

$$carga\ por\ taladro = carga\ lineal \times altura\ de\ carga \quad [11]$$

$$carga\ por\ taladro = 30\ kg \times 4\ m$$

$$carga\ por\ taladro = 119\ kg$$

Cálculo de factor de potencia HA-55 (kg/t):

$$FP = \frac{Explosivo\ Total\ x\ taladro}{Tonelaje\ roto\ por\ taladro} \quad [12]$$

$$FP = \frac{119}{250} = 0,35\ kg/t$$

Cálculo de costo explosivo HA 55 por taladro:

$$\text{Total explosivo } x \text{ taladro} = 119 \text{ kg}$$

$$\text{Total Emulsion} = 119 \times 0,50 = 60 \text{ kg}$$

$$\text{costo Emulsion por taladro} = 60 \times 0,67 = \mathbf{40 \text{ \$ / tal}}$$

$$\text{Total Anfo} = 119 \times 0,50 = 60 \text{ kg}$$

$$\text{Total nitrato} = 60 \times 0,94 = 56 \text{ kg}$$

$$\text{Costo Nitrato por taladro} = 56 \times 0,68 = \mathbf{38 \text{ \$ / tal}}$$

$$\text{Total diesel} = 56 \times 0,06 = 3,4 \text{ kg}$$

$$\text{Costo Diesel por taladro} = 3,4 \times 1,35 = \mathbf{4,5 \text{ \$ / tal}}$$

$$\text{Total costo HA55 por taladro} = 40 + 38 + 4,5 = \mathbf{82,5 \text{ \$ / tal}}$$

$$\text{Costo total por taladro} = \text{costo HA55} + \text{booster} + \text{fanel}$$

$$\text{Costo total por taladro} = \mathbf{82,5 + 3,09 + 2,48 = 88,07 \text{ \$ / tal}}$$

Cálculo de costo unitario de explosivo (\$/t):

$$\text{Costo unitario de explosivo} = \frac{\text{Costo total por taladro}}{\text{Tonelaje roto por taladro}} \quad [13]$$

$$\text{Costo unitario de explosivo} = \frac{88,07}{250} = 0,35 \text{ \$ / t}$$

CÁLCULO DE CARGA Y COSTO DE EXPLOSIVO SAN-G

Cálculo de carga lineal SAN-G

$$\text{carga lineal} = \emptyset \text{ de tal}^2 \times \rho \text{ exp.} \times 0,507$$

$$\text{carga lineal} = 6,75^2 \text{ pulg} \times 1,05 \text{ gr/cc} \times 0,507$$

$$\text{carga lineal} = 24,3 \text{ kg/m}$$

Cálculo de carga por taladro SAN-G

$$\text{carga por taladro} = \text{carga lineal} \times \text{altura de carga} \quad [14]$$

$$\text{carga por taladro} = 24,3 \text{ kg} \times 4 \text{ m}$$

$$\text{carga por taladro} = 97 \text{ kg}$$

Cálculo de factor de potencia SAN-G (kg/t):

$$FP = \frac{\text{Explosivo Total} \times \text{taladro}}{\text{Tonelaje roto por taladro}} \quad [15]$$

$$FP = \frac{97}{250} = 0,30 \text{ kg/t}$$

Cálculo de costo explosivo SAN-G por taladro

$$\text{Total explosivo} \times \text{taladro} = 97 \text{ kg}$$

$$\text{Total costo SANG por taladro} = 97 \times 0,713 = 69 \text{ \$/tal}$$

$$\text{Costo total por taladro} = \text{costo SANG} + \text{booster} + \text{fanel}$$

$$\text{Costo total por taladro} = 69 + 3,09 + 2,48 = 74,5 \text{ \$/tal}$$

Cálculo de costo unitario de explosivo (\$/t):

$$\text{Costo unitario de explosivo} = \frac{\text{Costo total por taladro}}{\text{Tonelaje roto por taladro}} \quad [16]$$

$$\text{Costo unitario de explosivo} = \frac{74,5}{250} = 0,30 \text{ \$/t}$$

Tabla 29

Cálculo de costos de explosivo por taladro de HA 64 vs SAN-G en mineral con presencia de agua

PARÁMETROS DE DISEÑO DE CARGA POR TALADRO			PRECIOS DE AGENTES DE VOLADURA Y ACCESORIOS	
	HA-64	SAN-G		
ALTURA DE CARGA (m)	4	4	EMULSIÓN MATRIZ (\$/Kg)	0,67
DENSIDAD DE EXPLOSIVO (gr/cc)	1,31	1,1	NITRATO (\$/Kg)	0,68
DIÁMETRO DE TALADRO (pulg)	63/4	63/4	DIESEL (\$/Kg)	1,35
			SAN-G (\$/Kg)	0,713
			BOOSTER (\$/UND)	3,09
			FANEL DUAL (\$/UND)	2,48

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

CÁLCULO DE CARGA Y COSTO DE EXPLOSIVO HA-64

Cálculo de carga lineal HA 64:

$$Carga\ lineal = \phi\ de\ tal^2 \times \rho\ exp. \times 0,507$$

$$Carga\ lineal = 6,75^2\ pulg \times 1,31\ gr/cc \times 0,507$$

$$Carga\ por\ metro\ lineal = 30,3\ kg/m$$

Cálculo de carga por taladro HA 64:

$$carga\ por\ taladro = carga\ lineal \times altura\ de\ carga \quad [17]$$

$$carga\ por\ taladro = 30,3\ kg \times 4\ m$$

$$carga\ por\ taladro = 121\ kg$$

Cálculo de factor de potencia HA-64 (kg/Tn):

$$FP = \frac{Explosivo\ Total\ x\ taladro}{Tonelaje\ roto\ por\ taladro} \quad [18]$$

$$FP = \frac{121}{250} = 0,48\ kg/Ton$$

Calculo de costo explosivo HA 64 por taladro:

$$\text{Total explosivo } x \text{ taladro} = 121 \text{ kg}$$

$$\text{Total Emulsion} = 121 \times 0,60 = 73 \text{ kg}$$

$$\text{Costo Emulsion por taladro} = 73 \times 0,67 = \mathbf{49 \text{ \$/tal}}$$

$$\text{Total Anfo} = 119 \times 0,40 = 48,4 \text{ kg}$$

$$\text{Total nitrato} = 48,4 \times 0,94 = 45,4 \text{ kg}$$

$$\text{Costo Nitrato por taladro} = 45,4 \times 0,68 = \mathbf{31 \text{ \$/tal}}$$

$$\text{Total diesel} = 48,4 \times 0,06 = 3 \text{ kg}$$

$$\text{Costo Diesel por taladro} = 3 \times 1,35 = \mathbf{4 \text{ \$/tal}}$$

$$\text{Total costo HA64 por taladro} = \mathbf{49 + 31 + 4 = 84 \text{ \$/tal}}$$

$$\text{Costo total por taladro} = \text{costo HA64} + \text{booster} + \text{fanel}$$

$$\text{Costo total por taladro} = \mathbf{84 + 3,09 + 2,48 = 89,5 \text{ \$/tal}}$$

Cálculo de costo unitario de explosivo (\$/t):

$$\text{Costo unitario de explosivo} = \frac{\text{Costo total por taladro}}{\text{Tonelaje roto por taladro}} \quad [19]$$

$$\text{Costo unitario de explosivo} = 0,36 \text{ \$/t}$$

CÁLCULO DE CARGA Y COSTO DE EXPLOSIVO SAN-G

Cálculo de carga lineal SAN-G

$$\text{carga lineal} = \emptyset \text{ de tal}^2 \times \rho \text{ exp.} \times 0,507$$

$$\text{carga lineal} = 6,75^2 \text{ pulg} \times 1,10 \text{ gr/cc} \times 0,507$$

$$\text{carga por metro lineal} = 25,4 \text{ kg/m}$$

Cálculo de carga por taladro SAN-G

$$carga\ por\ taladro = carga\ lineal \times altura\ de\ carga \quad [20]$$

$$carga\ por\ taladro = 25,4\ kg \times 4\ m$$

$$carga\ por\ taladro = 102\ kg$$

Cálculo de factor de potencia SAN-G (kg/t):

$$FP = \frac{Explosivo\ Total\ x\ taladro}{Tonelaje\ roto\ por\ taladro} \quad [21]$$

$$FP = \frac{102}{250} = 0,41\ kg/t$$

Cálculo de costo explosivo SAN-G por taladro

$$Total\ explosivo\ x\ taladro = 102\ kg$$

$$Total\ costo\ SANG\ por\ taladro = 102 \times 0,713 = 72\ \$/tal$$

$$Costo\ total\ por\ taladro = costo\ SANG + booster + fanel$$

$$Costo\ total\ por\ taladro = +3,09 + 2,48 = 77,5\ \$/tal$$

Cálculo de costo unitario de explosivo (\$/t):

$$Costo\ unitario\ de\ explosivo = \frac{Costo\ total\ por\ taladro}{Tonelaje\ roto\ por\ taladro} \quad [22]$$

$$Costo\ unitario\ de\ explosivo = \frac{77,5}{250} = 0,31\ \$/t$$

4.8. Cálculo de ahorro anual en costo de explosivo con el uso de SAN-G

De los cálculos realizados y resultados obtenidos se realiza un proyectado según la producción mensual de mina.

Tabla 30
Resumen de resultados obtenidos

RESUMEN DE CALCULO DE COSTOS DE EXPLOSIVO POR TALADRO DE HA VS SAN-G						
EXPLOSIVO	Ton. Rotas por Tal	FP (kg/Tal)	COSTO (\$/Tal)	AHORRO (\$/Tal)	COSTO (\$/t)	AHORRO (\$/t)
HA-46	340	0,33	84,58	16	0,25	0,005
SAN-G	340	0,26	68,58		0,20	
HA-55	250	0,48	88,58	14	0,35	0,056
SAN-G	250	0,39	74,58		0,30	
HA-64	250	0,48	89,58	12	0,36	0,048
SAN-G	250	0,41	77,58		0,31	

Costo global mes = Toneladas disparadas por mes × costo de voladura

Ahorro Anual Explosivos (\$)	DESMONTE	MINERAL SECO	MINERAL CON AGUA
Toneladas Disparadas (ton/año)	8 670 440,00	12 670 440,00	12 670 440,00
Costo Global con HA (US\$)	2 154 328,99	4 483 892,80	4 518 142,55
Costo Global con SANG (US\$)	1 737 704,30	3 790 087,17	3 957 089,88
Ahorro Anual (US\$)	41 6624,67	693 805,63	561 052,66
Porcentaje de Ahorro (%)	19,3 %	15,5 %	12,4 %

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

4.9. Análisis del ahorro de explosivo por uso de SAN-G proyectado:

Luego de una evaluación económica se ha llegado a una reducción en los costos de explosivo por el cambio de tipo de explosivo SAN-G en promedio de 0,08 \$/t, lo que al mes significa un ahorro de 34 719 \$/mes en desmonte y 57 817 \$/mes en mineral,

realizando una proyección al año se estima que se podría alcanzar un ahorro en explosivo de hasta **1 110 430 \$/año** en forma global.

En la siguiente figura 52, la tabla resumen y gráficas de los cálculos desarrollados, donde se aprecia el ahorro de explosivo que se tendría reemplazando el explosivo que usan actualmente en las voladuras por el SAN-G, teniendo en cuenta los parámetros de diseño actual y las mezclas explosivas de heavy ANFO que se emplean.

ANÁLISIS DE COSTOS DE HANFO Vs. SANG														
	HA46		SAN-G			HA55		SAN-G			HA64		SAN-G	
	DESMONTE					MINERAL					PRESENCIA DE AGUA			
1.0. Parámetros de F														
Díámetro de tal	6.75		6.75			6.75		6.75			6.75		6.75	
Longitud de tal	6.00		6.00			6.00		6.00			6.00		6.00	
Sobrepierforado	0.50		0.50			0.50		0.50			0.50		0.50	
Espaciamiento	4.60		5.20			4.60		4.60			4.60		4.60	
Burden (m)	4.00		4.6			3.6		3.6			3.6		3.6	
Densidad de roca	2.37		2.37			2.50		2.50			2.50		2.50	
Volumen total	101		144			100		100			100		100	
Tonelaje total	240		340			250		250			250		250	
2.0. Costo de Acceso														
1 Booster HDP	3.099		3.099			3.099		3.099			3.099		3.099	
Fanels DUAL x 2	2.484		2.484			2.484		2.484			2.484		2.484	
Fametrónics (t)	0		0			0		0			0		0	
1 Taponex 6 3/8	0		0			0		0			0		0	
Cable Amarre	0		0			0		0			0		0	
Fanels CTD 6 m	0		0			0		0			0		0	
Costo Total Acceso	5.58		5.58			5.58		5.58			5.58		5.58	
3.0. Costo de Explosivos														
Explosivo (kg)	112		113			119		97			121		102	
Segregación de explosivo	0		0			0		0			0		0	
Explosivo Teórico	112		113			119		97			121		102	
Carga Lineal (kg)	28		28			30		24.3			30		25.4	
Altura de carga (m)	4		4			4		4			4		4	
Densidad (gr/cm³)	1.21		1.22			1.29		1.05			1.31		1.10	
Emulsión (\$/tal)	22		30			40		69			49		72	
AN (\$/tal)	50		43.23			38		31			31		25	
Diesel (\$/tal)	4		5			5		4			4		3	
Aceite (\$/tal)	0		0			0		0			0		0	
Total Explosivos	77		79			83		69			84		72	
4.0. Precios de agentes														
Nitrato	680		680			680		680			680		680	
Emulsión Matriz	670		670			670		670			670		670	
PETROLEO (gal)	952		1352			1352		1352			1352		1352	
ACEITE														
SAN-G			713					713					713	
5.0. Resultados														
Factor de Potencia	0.47		0.33			0.48		0.39			0.48		0.41	
Costo de voladura	0.34		0.25			0.35		0.30			0.36		0.31	
Costo \$/taladrador	83		85			88		75			89		78	
Ahorro Anual Explosivos														
Toneladas Disparadas (ton/año)														
Costo Global con HA (\$)														
Costo Global con SANG (\$)														
Ahorro Anual (\$)														
Porcentaje de Ahorro (%)														
DESMONTE					MINERAL SECO					MINERAL CON AGUA				
8,670,440.00					12,670,440.00					12,670,440.00				
2,154,328.99					4,483,892.80					4,518,142.55				
1,737,704.30					3,790,087.17					3,957,089.88				
416,624.69					693,805.63					561,052.66				
19.3%					15.5%					12.4%				

Figura 52. Análisis de resumen de cálculo de parámetros y costo de explosivo por uso SAN-G

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

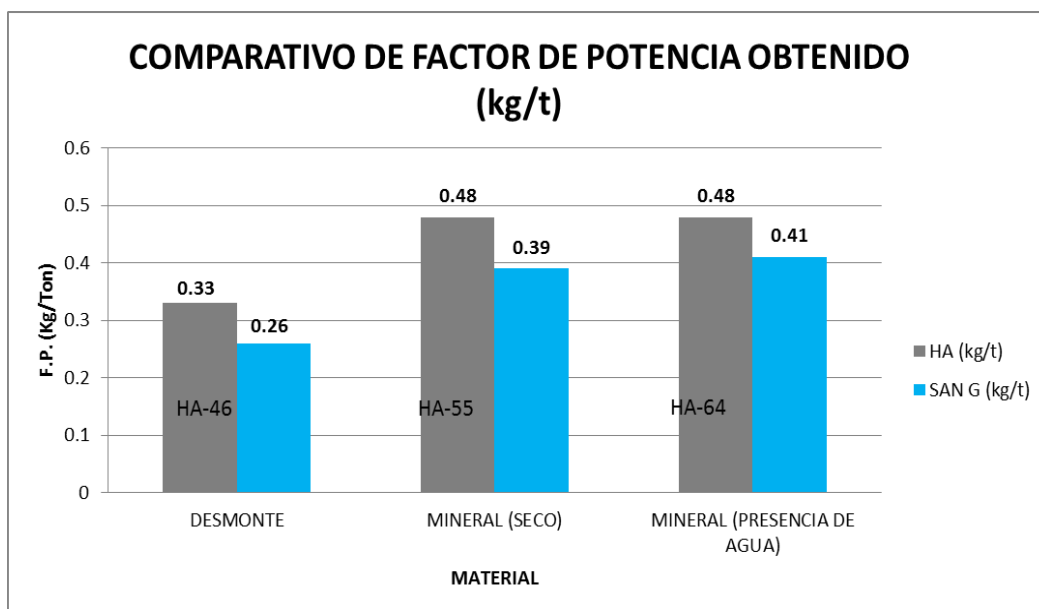


Figura 53. Reducción de factor de potencia (kg/t) por uso SAN-G
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

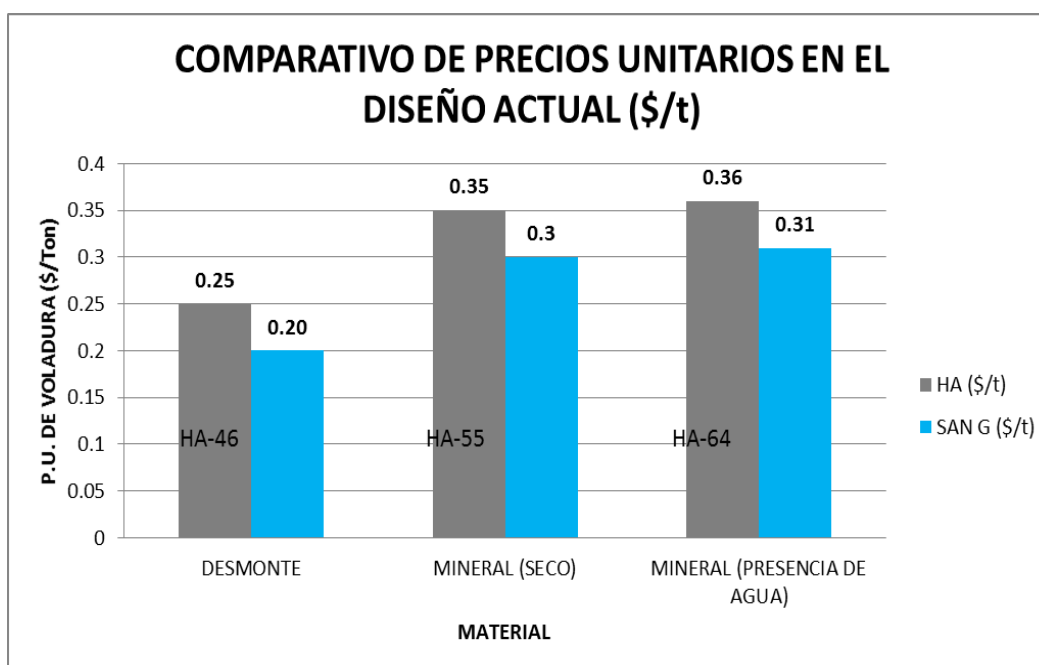


Figura 54. Reducción de precio unitario de explosivo en el diseño actual (\$/t)
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

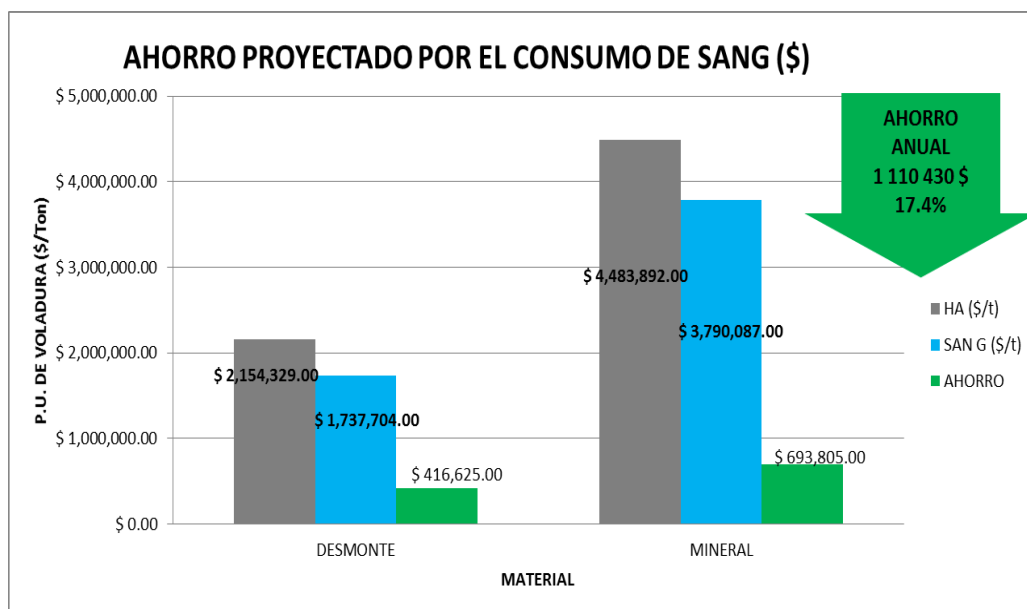


Figura 55. Ahorro de explosivo proyectado por el consumo de SAN-G (\$)
Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

Analizando los resultados obtenidos podemos comprobar el beneficio que se logra con el uso de explosivos SAN-G, reflejado notoriamente no solo en lo económico sino también en el proceso operativo, logístico y medio ambiental.

Tabla 31***Beneficios con el uso de explosivos SAN-G***

ITEM	¿CUÁL ES EL BENEFICIO?	¿POR QUÉ?
1	Incrementar las mallas de perforación	Porque se aprovecha la alta presión de detonación para incrementar la malla de perforación en comparación con el uso de H.A. 60/40
2	Disminución del costo unitario P&V (\$/t)	Porque se disminuye el Factor de potencia y se incrementa la malla de perforación, menos taladros, menos consumo de broca para un tonelaje planeado.
3	Disminución en el consumo de energía en Chancadora primaria (\$ / Kw-h)	Porque la alta presión de detonación y potencia de la SANG permite obtener fragmentos menores y homogéneos a 5.5 pulg en mineral.
4	Disminución del costo de carguío y acarreo (\$/t).	Porque el obtener fragmentos menores a 15cm en desmonte permite maximizar la capacidad de llenado del cucharón de la pala o cargador, la carga va mejor centrada y se optimiza la carga transportada en la tolva de los camiones de acarreo.
5	Disminución del costo financiero y logístico.	Porque se elimina los inventarios de Nitrato de amonio y petróleo.
6	Evitar la contaminación al medio ambiente por gases de voladura.	Porque la emulsión SANG es una mezcla termodinámicamente balanceada y no genera gases nitrosos (humos naranjas).
7	Disminución en los tiempos de carguío de taladros.	Porque se elimina los tiempos de abastecimiento de nitrato de amonio y petróleo

Fuente: Asistencia técnica Famesa explosivos 2 014

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se discuten y analizan las diferencias y similitudes que se encontraron en los resultados. Se analizó la información recopilada en la línea base y en la etapa de pruebas donde se experimentó con el nuevo explosivo a base de emulsión gasificable; de esta manera, se logró hacer un análisis integral para determinar la factibilidad en el rendimiento de columna explosiva de la compañía minera “La Zanja”.

5.1. Análisis y verificación de hipótesis

En la presente investigación, con los resultados obtenidos nos permite aceptar la hipótesis “la utilización de la emulsión gasificada SAN-G permitirá la capacidad de lograr mejores resultados que la emulsión matriz la cual se utiliza actualmente para la fabricación de ANFO pesado añadiendo un valor agregado a la operación en cuando a reducción costos de explosivo, ventajas operativas, de seguridad o cuidado medioambiental”.

Considerando los resultados en cuanto a reducción de costos de explosivo por uso de SAN-G, se obtiene una reducción promedio de 0,05 \$/t con los diseños actuales y por otro lado obteniendo un material roto de 1 743 395 t, situación que nos puede permitir alcanzar un ahorro en explosivo de hasta 1 189 355 \$/año, con respecto al uso de HA.

Según Vilca (2 013) en su investigación sobre el “Uso de emulsión gasificada (SAN-G) para mayor rendimiento de explosivos en la compañía minera aurífera Santa Rosa S.A. (Comarsa) 2 012” concluye que los gastos de perforación y voladura se reducen a 0,331 \$/m, existiendo una diferencia en costos unitarios de 0,08 \$/t, con un ahorro anual de 1 625 551 \$ comparado al uso de otro productos.

Por otra parte, Medina (2 014) en su investigación titulada “Evaluación técnico-económica-ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando emulsiones gasificadas en Cuaione – Southern Peru”, manifiesta que existe una reducción del factor de

potencia en 17 % de variación en promedio involucra un ahorro de US\$. 0,043 \$/t Rotas.

Los factores permiten proyectar un ahorro anual de 3 024 000,00 \$ (50 % de sustitución del actual explosivo), sin considerar la ampliación de mallas, pero con un reemplazo del 100 % de la nueva mezcla explosiva en Cuajone, se llegaría ahorrar hasta 6 049 000 \$ anuales.

Ante ello, según la información teórica consultada y las investigaciones antes mencionadas, podemos manifestar que la investigación realizada en la minera La Zanja sugiere continuar con la evaluación comparativa entre SAN-G y HA, el cual nos permita determinar la diferencia existente entre ambos resultados.

Asimismo, se considera que:

- La SAN-G es un agente de voladura preparado en base a una emulsión y se transporta a las minas como producto inerte, para luego ser sensibilizados en las operaciones.
- La SAN-G es preparado antes de ser bombeado a los taladros, el proceso es simple porque utiliza porcentajes menores de un

agente sensibilizante llamado N20, esta provoca una reacción química entre la emulsión matriz y el agente sensibilizante.

- El efecto de gasificación se produce inmediatamente después de realizar el llenado del taladro.



- El explosivo empieza a esponjar desde el momento del carguío, el efecto de la reacción química forma burbujas de nitrógeno quienes realizan el trabajo de “puntos calientes” durante la detonación.
- La SAN-G desarrolla altas velocidades y presión de detonación mayor a los tradicionales ANFOS pesados, es muy resistente al agua y mientras transcurre el tiempo de esponjamiento se mide el taco final.

- Las pruebas realizadas en el proyecto San Pedro dio los resultados esperados considerando las condiciones extremas (taladros inundados)

Densidad Relativa de la matriz inerte	1,30 g/cm³
Densidad relativa de matriz Sensibilizada	0,90 – 1,20 g/cm ³
Velocidad de detonación promedio obtenido en las pruebas	5 400 m/s
Presión de detonación promedio	72,5 Kbar

- Frente a un tradicional heavy ANFO 60/40, se obtuvo estos resultados:

Velocidad de Detonación	4 300 m/s
Presión de Detonación	52,4 Kbar

- Los resultados del tamaño de fragmentación se dieron en un promedio de 6,7 pulg.
- Los análisis de vibración en campo lejano dieron valores por debajo de los rangos nominales que explican las normas internacionales, esto considerando la carga operante reducida por el uso de la SAN-G a un promedio de 102 – 110 kg/tal, contra un HA con un promedio de carga de 125 kg/tal.

- Actualmente se vienen realizando seguimiento, monitoreo y análisis de las voladuras con SAN-G con el objetivo de controlar los procesos hasta percibir un estándar que considere reducir costos operativos en el proceso de minado.
- La SAN-G trabaja eficientemente y ofrece notables ventajas técnico económicas frente a los tradicionales ANFO'S pesados.
- La menor densidad del SAN-G, respecto al HA64 permite utilizar para la misma altura de carga un menor peso (102 kg vs 122 kg para un taladro de 6,0 m).
- Su uso garantiza un trabajo con seguridad, puesto que la matriz oxidante se sensibiliza al final del proceso de mezcla del camión fábrica, se trata entonces de un producto no-explosivo antes que estas sean cargadas en los taladros.
- Puesto que minera la Zanja se encuentra ubicada muy cercana a comunidades, es que se tenía el problema de gases nitrosos que perceptiblemente eran notorios en dichos caseríos, provocando reclamos hacia la empresa. Con el uso del SAN-G

se eliminó los gases nitrosos, por su correcto balanceo de oxígeno.



- No usar nitrato de amonio y petróleo representa un control logístico más ordenado y permite el stock de un producto homogéneo considerando mantener en mina el stock necesario.

CONCLUSIONES

Con la evaluación económica, se llegó a determinar que el cambio de explosivo por SAN-G permite disminuir el costo de explosivo obteniendo un ahorro promedio de 0,05 \$/t, lo que al mes significa la suma de 99 113 \$/mes y realizando una proyección al año se estima que se logra alcanzar un ahorro en explosivo de hasta 1 189 355 \$/año.

Durante la implementación de SAN-G se logró optimizar resultados en cuanto a fragmentación, mejorando la granulometría de la roca disparada en un 26 % en relación a los resultados anteriores, donde se obtenía una fragmentación promedio de 8,9 pulg., frente a los resultados promedio obtenidos de 6,5 pulg.

El principal punto crítico que se identifica es la inyección de solución N-20; si el porcentaje de inyección de esta solución no es el apropiado en porcentaje en la emulsión, el producto no va a llegar a la densidad final según diseño de carga, por ende su desempeño no será el requerido.

RECOMENDACIONES

Se recomienda determinar el actual work index de los equipos de carguío de mineral/desmonte, nos referimos al rendimiento de t/h de dichos equipos (cargadores y excavadoras).

Si la recuperación de oro aumenta en las pilas de lixiviación, debido a que el uso de la SAN-G, genera un efecto de micro facturas en el material roto, se recomienda, establecer una línea base del proceso actual con voladuras con ANFO pesados, para saber cuál es la recuperación en las pilas, en función a la fragmentación obtenida y posteriormente medir los resultados con la SAN-G.

Continuar con el control de la SAN-G durante el proceso de voladura, con el análisis granulométrico y las mediciones de VOD y monitoreo de vibraciones en distintos escenario y zonas del tajo con la finalidad de determinar los parámetros para cada caso. Para esto se recomienda la asistencia técnica continua en campo para garantizar el buen performance de este producto, generar reportes y cuantificar los datos obtenidos para establecer mejoras continuas en adelante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Fondo de Investigadores y Editores: *Química (2008) Análisis de Principios y Aplicaciones Tomo II* .Lumbreras Editores 3 Edición Setiembre del 2006-Segunda Impresión Julio. Lima-Perú.

Álvarez B. (2010). *Análisis de la influencia de los modelos de distribución de tamaños de partículas en la determinación de consumos energéticos en molienda mediante el método de Bond*. España.

Davey Bickford.(2013). *Investigación de las dificultades de fragmentación en las voladuras de mineral, informe interno Compañía Minera La Zanja*. Cajamarca– Perú.

Famesa Explosivos (2008) *Manual “SAN-G, un moderno y ventajoso agente de voladura para tajos abiertos”*. Lima –Perú.

Huancaya R. (2010). *Operaciones en Minera La Zanja. Instituto de Ingenieros de Mina*. Lima– Perú.

Knigh Piesold. (2012). *Plataforma de Lixiviación en Pilas San Pedro Etapas 3 y 2ª*. Informe interno de compañía Minera La Zanja. Cajamarca–Perú.

Huancaya R. (2010). *Operaciones en Minera La Zanja. Instituto de Ingenieros de Mina*. Lima –Perú.

Medina Cortez, Robert Osmar (2014). “*Evaluación técnico-económica-ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando emulsiones gasificadas en Cuajone – Southern Peru*”. Universidad nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica. Lima –Perú.

Rojas L. (2013). *Informe de Evaluación Matriz Exsa, Informe interno de compañía Minera La Zanja*. Cajamarca– Perú.

Rojas L. (2013). *Proceso de optimización de la fragmentación 2013 San Pedro Sur*, Informe interno de compañía Minera La Zanja. Cajamarca–Perú.

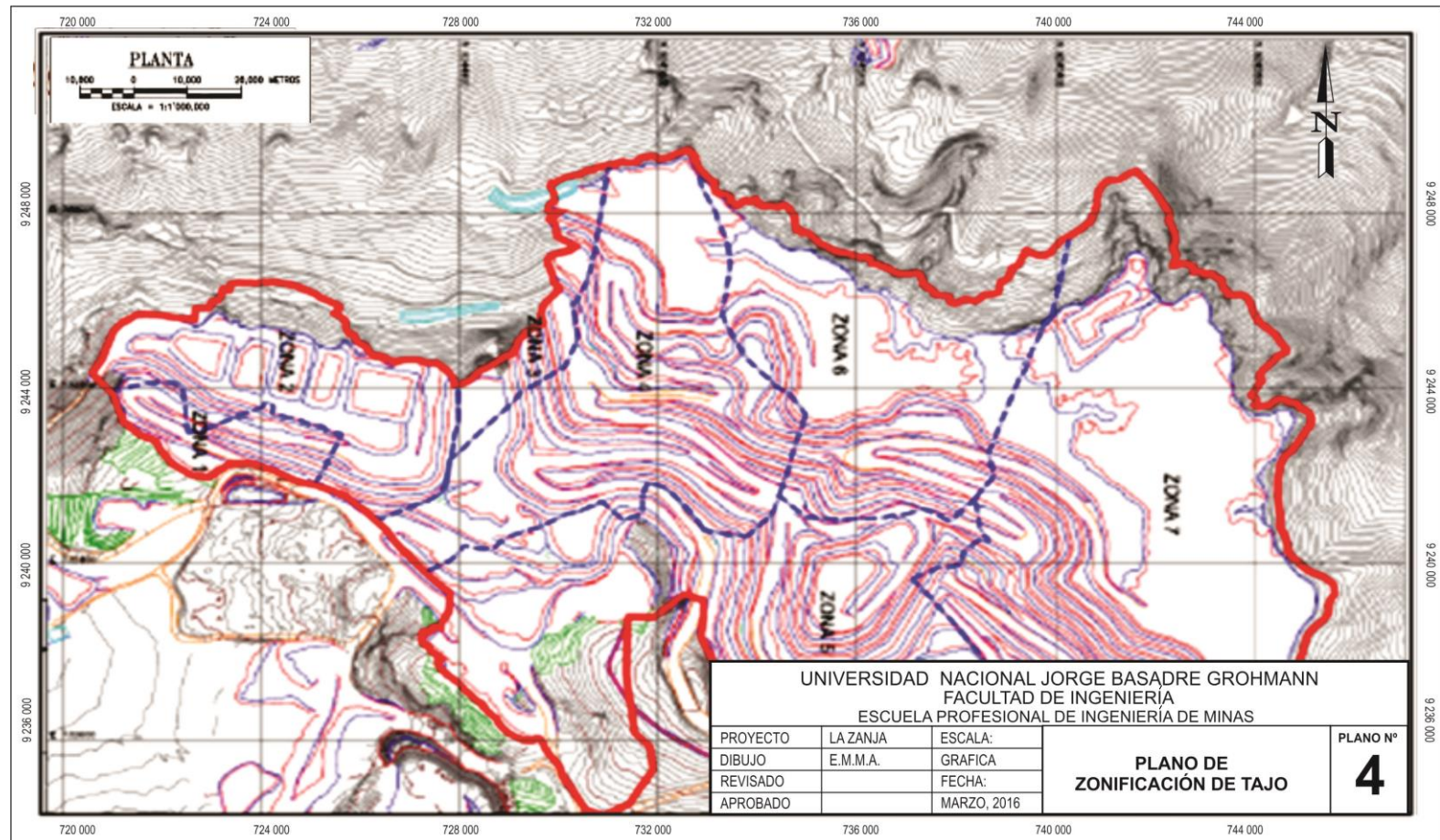
Vargas R. (2007). *Validación de tronaduras de Producción con gran Diámetro para zonas de Lastre en Minera Escondida*. Chile.

Vilca Angulo, Juan Luis (2013). “Uso de emulsiones gasificadas (SAN-G) para el mayor rendimiento de la columna explosiva en la compañía minera aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA).” Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Facultad de Ingeniería. Escuela de formación Profesional de Minas. 2013. La Libertad-Perú.

Yancachajlla D. (2008). *Fragmentación para la lixiviación de Oro. VIII Jornadas de Tronadura Asiex 2008*. Chile.

ANEXOS

ANEXO N° 01 **ZONIFICACIÓN DEL TAJO DE LA MINERA “LA ZANJA”**



ANEXO N° 02

MATRIZ DE CONSISTENCIA: “APLICACIÓN DE EMULSIÓN GASIFICADA (SAN-G) Y SU FACTIBILIDAD EN EL RENDIMIENTO DE COLUMNA EXPLOSIVA DE LA COMPAÑÍA MINERA “LA ZANJA” CAJAMARCA 2014”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema General: ¿Cuáles son las ventajas económicas, técnicas y operativas que puede aportar la utilización de la emulsión gasificada SAN-G en el proceso de voladura de la Minera La Zanja 2014? Problemas Específicos: - ¿Cuáles son las posibilidades de reemplazar la emulsión matriz que se utiliza en la operación por emulsión gasificada SAN-G? - ¿Cómo disminuir el costo por metro lineal y por taladro usando emulsión gasificada SAN-G sin afectar de manera negativa la productividad de los equipos de minado? - ¿Cómo alcanzar la fragmentación actual o mejorarla usando emulsión gasificada SAN-G? - ¿Cómo eliminar la generación de gases nitrosos y por ende mejorar las prácticas medioambientales y de seguridad? - ¿Cuáles son los puntos críticos y establecer procedimientos y controles de calidad para asegurar el desempeño del nuevo producto a lo largo de su implementación y posterior aplicación?	Objetivo General: Determinar las ventajas técnicas, operativas y económicas que puede aportar la utilización de la emulsión gasificada SAN-G en comparación con el ANFO pesado en el proceso de voladura en Minera la Zanja 2014 Objetivos Específicos: - Estudiar la posibilidad de reemplazar el ANFO pesado que se utiliza actualmente en la operación por la emulsión gasificada SAN-G. - Disminuir el costo por metro lineal y por taladro usando emulsión gasificada SAN-G sin afectar de manera negativa la productividad de los equipos de minado. - Lograr la fragmentación actual o mejorarla usando emulsión gasificada SAN-G. - Eliminar la generación de gases nitrosos y por ende mejorar las prácticas medioambientales y de seguridad. - Identificar puntos críticos y establecer procedimientos y controles de calidad para asegurar el desempeño del nuevo producto a lo largo de su implementación y posterior aplicación	La utilización de la Emulsión Gasificada SAN-G permitirá la capacidad de lograr los mismos o mejores resultados que la emulsión matriz la cual se utiliza actualmente para la fabricación de ANFO pesado añadiendo un valor agregado a la operación en cuando a reducción costos, ventajas operativas, de seguridad o cuidado medioambiental	Variable Independiente: Aplicación de Emulsión Gasificada Indicadores: X1= Monitoreo de densidades X2= Monitoreo de Velocidad de Detonación X3= Monitoreo de Niveles de Vibración X4= Análisis granulométrico X5= Estadísticas X6= Parámetros y Consumo de Explosivos Variable Dependiente: Factibilidad en el rendimiento explosivo Indicadores: Y1 = Ahorro por taladro. X2= Factores de potencia. Y3 = Costo por ml. Y4 = Costo por taladro. Y5 = Ahorro costo explosivo. Y6= Proyección de ahorro. Y7= Costo de Minado	Tipo de la Investigación: El presente trabajo considera una investigación: Aplicada, de acuerdo a la clasificación que siguen Ander – Egg y Bunge. Diseño: - Exploratorio - Descriptivo - Experimental y correlacional Nivel: - Descriptivo - Explicativa - Correlacional La Muestra: Se considerarán los proyectos de voladura planificados para la aplicación de este nuevo producto, se verificará los resultados obtenidos siendo estos cuantificables para el análisis técnico-económico.

ANEXO Nº 03

FICHAS TÉCNICAS DE SAN-G Y SOLUCIÓN N 20

SAN-G EMULSIÓN MATRIZ GASIFICADA

DESCRIPCIÓN

Es un agente de voladura, producido en base a una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un elemento emulsificante. Esta emulsión es sensibilizada en las operaciones mineras o canteras antes de su carguío a los taladros, mediante la dosificación de una solución gasificante de sales oxidantes químicamente balanceadas, produciendo una mezcla explosiva de menor densidad y mayor velocidad de detonación que los ANFOS pesados, altamente resistente al agua, muy viscosa y muy energética, que a su vez es generadora de una buena calidad de gases de voladura.

VENTAJAS

- Puede usarse en rocas de cualquier dureza y en terrenos secos, húmedos e inundados.
- Al cargar los taladros, sus columnas explosivas se acoplan por completo, desarrollando con dicha condición toda la energía depositada en ellas.
- Su uso representa un trabajo con seguridad, toda vez que la matriz oxidante se sensibiliza al final de la unidad mecanizada; vale decir que se trata de un producto-no explosivo antes de ingresar en los taladros.
- Puede ser cargado a diferentes densidades y energías, para cumplir siempre con el objetivo de producir una buena fragmentación para mejorar la productividad desde la mina hasta su molienda en la planta o su deposición en las canchas de lixiviación.
- Por su alto poder rompedor es posible ampliar las plantillas de perforación y de reducir los costos involucrados.
- Por la practicidad de su manejo permite reducir los tiempos de carguío.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

• DENSIDAD RELATIVA DE LA MATRIZ INERTE	1,38	
• DENSIDAD RELATIVA DE LA MATRIZ	0,90-1,20	g/cm ³
• VISCOSIDAD (BROKFIELD HA DVII A 50 RPM)	14,000	
• VELOCIDAD DE DETONACIÓN (**)	4,600-5,800	m/s
• PRESIÓN DE DETONACIÓN	47,6-101,0	Kbar
• ENERGÍA	610	Kcal/Kg
• VOLUMEN NORMAL DE GASES	1 020	
• POTENCIA RELATIVA EN PESO (***)	70	
• POTENCIA RELATIVA EN VOLUMEN (***)	102	
• RESISTENCIA AL AGUA	Excele	
• CATEGORÍA DE HUMOS	Prim	
• DIÁMETRO CRÍTICO DE TALADROS	3	
• CONDICIÓN FRENTE A LA PRESENCIA DE AGUA	Taladros secos, húmedos e	
• SISTEMA DE CARGUÍO	Vaciable y bombeable	
• MÁXIMO TIEMPO DE ESPERA PARA SU DETONACIÓN	7 días	

*. La densidad depende de la temperatura de la emulsión matriz y de la concentración del gasificante.

**. Velocidad de detonación de la SAN-G sensibilizada en tubo de 6" de diámetro.

***. Potencias relativas referidas al ANFO con potencia convencional de 100.

APLICACIÓN

La SAN-G[®] ha sido especialmente diseñada para ser usada en minería superficial, en minas con diversos tipos de roca y bajo cualquier condición en relación con la presencia de agua.

PRIMADO E INICIACIÓN

La SAN-G[®] debe ser iniciada por una “prima” conformada por un booster HDP, de un peso concordante con el peso de las columnas explosivas usadas y con un detonador FANEL. No se recomienda el uso de cordones detonantes, por los efectos desventajosos que generaría.

CARGUÍO

La SAN-G[®] debe ser cargada, ya sea como un agente vaciable o bombeable, por los camiones-fábrica de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., que a diferencia de las convencionales unidades que cargan ANFOS PESA- DOS, están provistos de un sistema de gasificación de la emulsión matriz, constituido por una unidad de programación lógica (PLC), que permite programar la cantidad de emulsión matriz, solución gasificante y agua a despachar; así como controlar en tiempo real la temperatura del agente y la presión de bombeo. Posee un sistema de seguridad que detiene automáticamente el proceso de bombeo y gasificación cuando la presión de la bomba de trabajo alcanza 160 psi.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. cuenta con una flota de camiones-fábrica equipados con el sistema de gasificación en mención; así como brinda su servicio de conversión de camiones convencionales a este nuevo tipo de unidades de carguío.

TIEMPO DE GASIFICACIÓN

Deben transcurrir unos 20 minutos por lo menos entre el carguío del agente explosivo y la colocación del “taco” en el taladro.

TIEMPO DE ESPERA DE LOS TALADROS CARGADOS

El máximo tiempo de espera para detonar taladros cargados con SAN-G[®] es de 7 días, aunque dicho tiempo está supeditado a aspectos como diámetro del taladro, densidad de la roca, presencia de agua en el terreno y sistema de iniciación utilizado.

TEMPERATURA DEL TERRENO

La SAN-G[®] puede ser usado con normalidad en minas con temperaturas comprendidas entre 0 °C y 40 °C.

PRESENTACIÓN

La SAN-G[®] se presenta a granel y se transporta en camiones-cisterna

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. sólo se responsabiliza por lo expresamente indicado en esta ficha técnica y en ningún caso por los daños, pérdidas o cualquier contingencia derivada del uso del producto. El uso de explosivos está regulado en cada país por leyes propias. De otro lado FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. se reserva el derecho de introducir en sus productos modificaciones que estime conveniente, sin previo aviso.
--

ANEXO 04

FICHA TÉCNICA SOLUCIÓN N-20

DESCRIPCIÓN:

Es una solución acuosa de sales oxidantes químicamente balanceada de naturaleza iónica.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Nº	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN NOMINAL
01	Viscosidad a 20 °C	cP	1,0
02	Densidad a 20 °C	g/ml	1,12
03	PH		5,2
04	Apariencia	--	Líquido acuoso de color azul claro

APLICACIONES:

La SOLUCIÓN N-20 se usa como agente sensibilizante de la Emulsión SAN-G y MULFRAG. La Temperatura de trabajo es de 0°C a 30°C. Si se requiere utilizar fuera de ese rango de temperatura contactarse con el Área de Asistencia técnica de Famesa Explosivos.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO:

La SOLUCIÓN N-20 no presenta riesgos en su manipulación. Almacénese bajo techo, a la sombra y en empaque original, por debajo de 30 °C.

PRESENTACIÓN:

En cilindros plásticos de 200 kg o en Galonera de 16,5 Kg.

ATENCIÓN:

La información y recomendación aquí descrita no cubren necesariamente todas las aplicaciones del producto ni las distintas condiciones bajo las cuales sea utilizado. Famesa Explosivos S.A.C no asume responsabilidad alguna por el transporte, almacenaje o uso inadecuado que pudiera darse a los productos producidos por ella.

ANEXO N° 5 PLANTA DE PROCESO MINA “LA ZANJA”

Lixiviación del mineral

El carguío de la plataforma se realizará en capas de 10 m de altura con excepción de la primera capa, la cual se cargará en dos etapas. En la primera etapa la capa de mineral tendrá 2 m de altura con mineral de una gradación más fina para evitar el impacto y daño de la geomembrana, que igualmente estará protegida por la capa de protección de 350 mm de espesor. En la segunda etapa se cargarán los 8 m restantes de mineral. La plataforma tendrá una altura máxima de 70 m medidos desde el pie de talud de la pila y se construirá de tal manera que el talud general en cualquier dirección tendrá una pendiente de 2,5H:1V con bermas de retiro de 6 m de ancho. El mineral será llevado del tajo hacia la plataforma mediante camiones y será descargado en forma directa. Luego de descargado, se le rociará cal, la cual será aplicada con la finalidad de mantener la pila con un pH por encima de 9,5 para favorecer la lixiviación con solución de cianuro de sodio en forma segura.

El mineral a ser tratado en la pila de lixiviación, será transportado tal como sale de la mina, sin pasar por el proceso de trituración previo. La acumulación de carga de mineral fresco en la plataforma, será efectuada en secciones correspondientes a los tiempos de ciclos de lixiviación y a las tasas de aplicación de solución lixivante. Después de completar un área de lixiviación, se aflojará la parte superior de la pila desgarrando la superficie con el vástago de un tractor hasta llegar a la profundidad necesaria o se podrá emplear una excavadora para batir el material, a fin de quebrar la compactación superficial y mejorar la circulación de fluido del proceso de percolación. Sobre la superficie preparada de esa manera, se instalarán los tubos del sistema de irrigación para la aplicación de la solución lixivante.

En el proceso de lixiviación sobre la superficie de la pila se aplicará una solución estéril de cianuro de sodio con concentraciones diluidas (50 mg/L aproximadamente), mediante irrigación por goteo. Las tasas de aplicación variarán según tipo de mena y las curvas de recuperación de lixiviación, según diseño un promedio de 10 L/h/m². La solución del proceso de lixiviación se infiltrará a través de la pila, disolviendo los contenidos de oro y plata para luego fluir al sistema de los tubos de drenaje de la plataforma de lixiviación hasta el punto de salida, situado en el lugar más bajo de la



Figura 1: Descarga de mineral en el Pad
Fuente: Geología Minera La Zanja

plataforma, en la esquina sureste de la misma, punto desde el cual fluiría al estanque de la solución rica.

Manejo Operativo Planta

1. Transporte de mineral hacia el Pad

El transporte se realiza mediante camiones de 20 m³ desde el tajo San Pedro Sur al Pad de lixiviación, transportando una carga útil de material de 25 - 30 Tn, la contratista encargada cuenta con aproximadamente 31 camiones para poder cumplir con el material requerido para el Pad de 22500 Tn/día, el material es vertido en el Pad con la ayuda de un supervisor (cuadrador) para prevenir los accidentes.

2. Acondicionamiento del mineral con cal

En la descarga de mineral se vierte cal con un pequeño cargador, para preparar el material para el regadío por goteo, el tamaño de material máximo es de 10 pulg. Las pruebas metalúrgicas indican que un 1 tn de mineral requiere de 0,7-0,8 kg de cal.



Figura 2: Incorporación de cal en el mineral
Fuente: Geología minera La Zanja

3. Preparación del Pad

Cuando el mineral se encuentra en el Pad, mediante el bulldozer (oruga) se procede a nivelar la plataforma de mineral y seguidamente es surcado usando el ripper del equipo, de esta manera se encontraría dispuesta la preparación para el montaje de las celdas de regadío.



Figura 3: Nivelación de las celdas del Pad
Fuente: Geología minera La Zanja

4. Ripeado del mineral

La celda antes de colocar la tubería Lay Flat, se debe hacer un ripeado profundo, por lo menos de 70 cm de profundidad, de esta manera se asegura la permeabilidad de la solución. El ripeado se realiza con bulldozer (oruga).

5. Tuberías y accesorios de alimentación al Pad de Lixiviación

El Pad de lixiviación está conformado por celdas de riego, cada celda es de 50 x 100 metros aproximadamente, las celdas están conformada por tubería de:

- Tubería lay flat de 16 mm.
- Tubería lay flat de 6 pulg.
- Tubería HDPE de 10 pulg.
- Tubería de acero de 16 pulg.
- Conectores de tubería de 16 mm.
- Goteros



Figura 4: Ripeado de las celdas del Pad
Fuente: Geología minera La Zanja

6. Tendido de tubería en celda

Cuando la celda es entregada se procede al tendido de tuberías, normalmente el tamaño de celda es de 50 x 100 metros. Para el sistema de riego se usa tuberías de 16 pulg, conocidas como tubería madres, las cuales llegan primero a un manifold de 10" y posteriormente a un candelabro, del cual nacen tuberías secundarias "lay flat de 6" donde se



Figura 5: Tendido de sistema de tuberías sobre las celdas de lixiviación

instalan tuberías de 16 mm que contienen los goteros que están distanciados a 63 cm cada uno, haciendo un área de riego de 63x63 cm². Estas tuberías están comunicadas con un lay flat de 2" usada como drenaje de partículas. Inicio de armado de celda en donde se tiene el lay flat de 16 mm para ser usado en un área de 5000 metros cuadrados los cuales son colocados de extremo a extremo y embocados en la tubería de lay flat de 2 pulgadas.

7. Riego de celda

El ratio de flujo es de 10 a 12 lt/hr/m² por gotero, el riego promedio del PAD es de 90 a 120 días, con una fuerza de cianuro de 50 ppm aproximadamente, pH 10,5 promedio y 24000 m³/día de solución aproximadamente.



Figura 6: Vista de una celda ya terminada, lista para el regado por goteo
Fuente: Geología minera La Zanja

8. Solución de Pad a Poza Pregnant

La descarga de la solución del Pad se da por la parte inferior y es colectada por medio de 4 tuberías de HDPE de 16 pulg. Las cuales alimentan a la poza pregnant con un volumen útil de 20,000 m³ aproximadamente, el tiempo de riego por cada celda de mineral es de 120 días como máximo, la cama de mineral tiene una altura de 16 metros aproximadamente.



Figura 7: Descarga de solución del Pad a Poza Pregnat
Fuente: Geología minera La Zanja

9. Procesamiento de la Solución Rica

La solución rica, conteniendo oro y plata, es bombeada de la poza de solución rica en forma continua a través de dos trenes de 5 columnas de carbón activado cada uno. El flujo de la solución pasará a contracorriente a través del carbón activado que adsorberá el oro y la plata de los complejos de cianuro. Periódicamente se retira el carbón activado y se envía al circuito de lavado ácido. El carbón cargado con oro y plata es transportado hacia las torres de desorción. La solución súper rica de desorción pasa al proceso Merrill Crow

donde se obtiene el precipitado, el cual luego de un secado (retortas), es fundido para producir barras de doré (oro y plata). El carbón regenerado, del cual han sido retirados los contenidos de oro y plata, será retornado a las columnas de carbón de adsorción para continuar con el proceso de recuperación de metales preciosos. La solución estéril saliente del circuito de adsorción pasa por un tamiz de seguridad con el objeto de filtrar los finos del carbón residual y finalmente seguir hacia el tanque de retención de solución estéril.

Se dosifica el cianuro de sodio a fin de obtener la concentración adecuada para el proceso de lixiviación, la solución así preparada es luego bombeada y distribuida en la parte superior de la pila de lixiviación de mineral, repitiéndose el proceso en forma cíclica para optimizar el uso de los recursos e insumos.



Figura 8: Planta ADR (Adsorción/Desorción/Regeneración)
Fuente: Geología minera La Zanja

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Precorte.-** Consiste en perforar una serie de taladros a lo largo de la línea límite de excavación, con carga explosiva y espaciamiento menor a los empleados en una voladura convencional o de producción, de modo que al disparar en forma simultánea o retardada cada cierto número de taladros antes de iniciar la voladura principal, se genere un plano de debilidad que sirva de amortiguación para las vibraciones de dicha voladura.
- **Taladro.-** Cavidad cilíndrica como consecuencia de una perforación en la cual, se deposita el explosivo de acuerdo a un diseño previo.
- **Explosivo.-** Es toda sustancia sólida o líquida, que al recibir un estimulante adecuado, en un infinitésimo de tiempo, se convierte en otras sustancias más estables, generalmente gaseosas; acompañados de una liberación de calor y altas presiones.
- **Burden.-** Es la distancia del taladro a la cara libre más cercana, orientado perpendicularmente al eje del taladro.
- **Espaciamiento.-** Se define como la distancia entre taladros de una misma fila perpendiculares al burden.
- **Cara libre.-** Superficie de contacto con el medio ambiente tomando como referencia un cubo, es indispensable para la formación y retorno de las ondas de tensión relejadas que provocan la fragmentación.
- **Malla.-** Es la forma geométrica en la que se disponen los taladros de una voladura, considerando básicamente la relación burden y espaciamiento.
- **Fragmentación.-** Es la rotura de la roca en el área de la línea de menor resistencia (burden) como consecuencia de la acción ejercida por los explosivos.
- **Desplazamiento.-** Consiste en el movimiento de la masa rocosa triturada como consecuencia de la acción ejercida por los explosivos hacia una dirección establecida.

- Voladura de rocas.- Es un proceso tridimensional, en la cual las presiones generadas por explosivos dentro de taladros, originan una zona de alta concentración de energía que producen dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento.
- Factor de Potencia.- Es la cantidad de explosivo en peso que se emplea para fragmentar una tonelada métrica de material de banco.
- Técnicas de voladura.- Procedimiento que combinan la diversidad de etapas a desarrollarse en la rotura de macizos a fin de predisponer geotécnicamente el yacimiento y facilitar la explotación del mineral.