

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

**“USO DE EMULSIÓN GASIFICABLE SAN-G PARA REDUCIR EL
COSTO DE VOLADURA EN LA UNIDAD MINERA ANDRÉS -
JESSICA - ARUNTANI S.A.C.”**

PRESENTADO POR:

Bach. EDER FEDERICO PARICAHUA MASCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

**“USO DE EMULSIÓN GASIFICABLE SAN-G PARA REDUCIR EL
COSTO DE VOLADURA EN LA UNIDAD MINERA ANDRÉS -
JESSICA - ARUNTANI S.A.C.”**

PRESENTADO POR:

Bach. EDER FEDERICO PARICAHUA MASCO

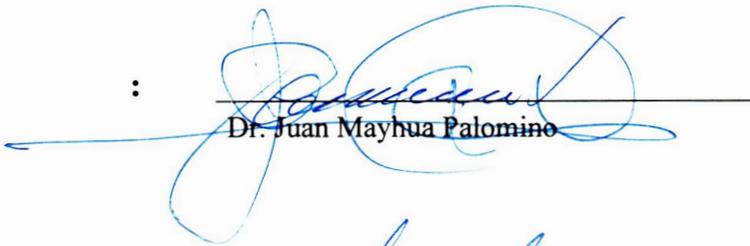
A la Dirección de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano, como requisito para optar el título de:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

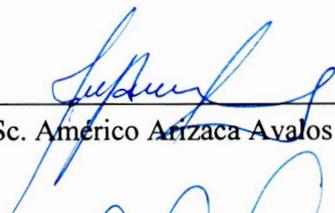
PRESIDENTE

:

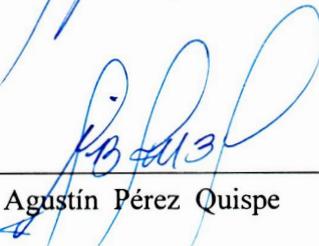

Dr. Juan Mayhua Palomino

PRIMER MIEMBRO

:


M.Sc. Américo Arizaca Avalos

SEGUNDO MIEMBRO:


Ing. Agustín Pérez Quispe

Área : Ingeniería de Minas

Tema : Métodos de Extracción de Yacimientos Minerales Metálicos y No Metálicos

Fecha de sustentación: 21 de agosto de 2019

DEDICATORIA

El presente informe lo dedico a mi Madre Celestina, quien con su apoyo incondicional ha permitido cumplir mi objetivo como profesional y a mi Padre que desde el cielo ilumina mi camino, de tal forma a mis hermanos Pedro y Yaqueline que siempre me apoyan a pesar de mis errores.

Dedico a mi esposa Yesenia por su apoyo permanente para culminar con éxito el presente informe.

Dedico a mis hijos Carmen, Mathias y mis abuelitos que me dieron fuerza, voluntad e inspiración para ejecutar el presente informe.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme vida y salud, mostrarme cuán importante es el amor de una familia, le agradezco por guiarme con conocimiento, que me permiten seguir luchando y trabajando por la vida.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno Mi Alma Mater a los docentes de dicha Facultad, compañeros, amigos que me acompañaron, guiaron con éxito mi formación académica.

Mi agradecimiento a los miembros del jurado: Ing. Juan Mayhua, Ing. Américo Arizaca e Ing. Agustín Pérez, por sus aportes y orientaciones durante el desarrollo del presente informe de trabajo profesional.

A la empresa minera ARUNTANI S.A.C., por darme la oportunidad de desarrollarme como profesional.

A los ingenieros Ivan Maravi, Jaime Aliaga, Nelson Torres, York Gutierrez, Marco Gomez, Gustavo Durant, Miguel Chupillon, Aldo Moroco, Franklin Perez ,Alcides Peña, Rodolfo Alva, Jesus Dextre, Pedro Pachari ,a mis compañeros de trabajo Franklin Leiva, Edy Machaca, Misael Flores, Manuel Chiclla a todo el equipo del área de Perforación – Voladura de la unidad minera, a todos los amigos de las distintas áreas de mantenimiento, almacén, topografía y muy en especial al Ing. Alberto Jo Lopez que en paz descansa, quienes con su apoyo permitieron desarrollarme, integrarme y ser partícipe de un equipo de trabajo de la empresa , quienes siempre han tenido la atención y colaboración en mi desempeño profesional y laboral.

A todos les quiero decir:

Gracias

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

El sustentante ha laborado en diferentes empresas mineras de nuestro país, por lo que me permito presentar a vuestra consideración el presente trabajo ***“USO DE EMULSIÓN GASIFICABLE SAN-G PARA REDUCIR EL COSTO DE VOLADURA - UNIDAD MINERA ANDRÉS - JESSICA - ARUNTANI S.A.C.”***, realizado en la empresa indicada, con la finalidad de optar el título profesional de Ingeniero de Minas, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Altiplano de la ciudad de Puno.

Puno, 2019

Bachiller: Eder Federico Paricahua Masco

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
PRESENTACIÓN	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
RESUMEN.....	12
REPORTE DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL	13
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. Planteamiento del problema	17
1.2. Formulación del problema	18
1.2.1. Problema general	18
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
CAPITULO II	
ASPECTOS GENERALES	
2.1. Ubicación y Acceso	19
2.2. Geología	20
2.3. Geología Regional	20
2.3.1. Grupo Tacaza.....	21
2.3.2. Grupo Palca	21
2.3.3. Grupo Sillapaca	21
2.4. Geología Estructural	21

2.5. Geología Local	22
2.5.1. Grupo Palca	22
2.5.2. Clásticos Chacapalca:	23
2.5.3. Grupo Sillapaca:	23
2.6. Geología del depósito mineral Jessica.....	24
2.6.1. Litología	24
2.6.2. Geología Estructural	24
2.6.3. Alteraciones	25
2.7. Mineralización.....	27
2.7.1. Tipos de Brechas	28
2.8. Descripción de operaciones mina	30
2.8.1. Descripción del tajo abierto.....	30
2.8.2. Perforación	31
2.8.3. Voladura	31
2.8.4. Explosivos, agentes y accesorios de voladura utilizados:	32
2.8.4.1. Definición de explosivos:	32
2.8.4.2. Agentes de voladura	33
2.8.4.2.1. Anfo.	33
2.8.4.2.2. <i>Heavy</i> anfo (anfo pesado).....	33
2.8.4.3. Accesorios de voladura.....	34

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL OBJETIVO

3.1. Implementación del emulsión gasificada San - G	37
3.1.1. Definición de emulsión gasificable San – G	37
3.1.2. Características técnicas.....	39
3.1.3. Esquema de fabricación en el camión fabrica	39
3.2. Soluciones teóricas y prácticas	44

3.2.1. Solución Teórica.....	44
3.2.2. Solución Práctica	44

CAPITULO IV

APLICACIÓN

4.1. Densidades de la emulsión gasificable SAN-G.....	45
4.2. Tipo de densidad emulsión gasificable San G usada.....	47
4.3. Tipos de alteración en la unidad minera.....	47
4.4. Caracterización geomecánica en la unidad minera.....	48
4.5. Monitoreo de las Vibraciones.....	50

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1. Costos comparativos de los explosivos	54
5.2. Evaluación de la granulometría mediante análisis de fragmentación.....	55
5.3. Evaluación del factor de potencia de la emulsión gasificable San -G.....	56
5.4. Evaluación de la Velocidad de Detonación (VOD) de la emulsión gasificable.....	57
5.5. Discusión	60
5.5.1. Parámetros de perforación voladura.....	60
5.5.2. Costo de voladura con emulsión gasificable	61
5.5.3. Comparativo de PoD Heavy Anfo vs SAN- G.....	62
5.5.4. Diseño de secuencia de salida con el software jk simblast.	64
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA.....	69
ANEXOS.....	70
ANEXO 1	71
Proyecto antes del disparo	71
Bco 4768 Py. 06	71

Proyecto antes del disparo	72
Bco 4792 Py. 15	72
Proyecto antes del disparo	73
Bco 5088 Py. 04	73
Proyecto antes del disparo	74
Bco 5088 Py. 07	74
ANEXO 2	75
Velocidad de detonación	75
ANEXO 3	82
Registro de vibraciones	82
ANEXO 4	86
Interpretacion de alteraciones	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Control estructural de Jessica tendencia E-W - N70°E.....	25
Figura 2: Abundante jarosita impregnada sobre roca silicificada – alunita.....	27
Figura 3: Tipos de Brechas	29
Figura 4: Componentes de la Emulsión Gasificada SAN-G.....	38
Figura 5: Proceso de sensibilización.....	38
Figura 6: Fabricación en el camión fabrica	40
Figura 7: Fabricación de la SAN-G	40
Figura 8: Diseños de carga usados en la unidad minera	47
Figura 9: Cuadro de alteraciones y dureza.....	48
Figura 10: Cuadro de VPP crítico para la Zona de Sílice Granular.....	51
Figura 11: Histograma de Costo de Voladura HA46 vs SANG	55
Figura 12: Histograma de Factor de Potencia HA46 vs SANG.....	57
Figura 13: Histograma comparativo de VODs (San G Vs HA37 vs HA46)	59
Figura 14: Comparación de Presión de detonación	62
Figura 15: Malla con polígonos de mineral y desmonte.....	65
Figura 16: Malla con mapeo geológico	65
Figura 17 : Diseño y Simulación con JK	66
Figura 18: Alteraciones en el tajo Jessica	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ruta Juliaca – Unidad minera Andrés – Jessica.....	20
Tabla 2: Ruta Arequipa – Unidad minera Andrés – Jessica	20
Tabla 3: Mezclas de Heavy ANFO	34
Tabla 4: Características técnicas	39
Tabla 5: Densidad final a los 30 minutos, la temperatura del SANG y el % de N 20 ...	46
Tabla 6 : Sílice masiva es una roca buena muy buena calidad tipo de II a I.	48
Tabla 7: Sílice granular es una roca buena de tipo II.....	49
Tabla 8: Sílice alunita es buena a regular tipo II a III.....	49
Tabla 9 : Sílice clay pirita es una roca buena tipo II.....	49
Tabla 10 : Clay es una roca pobre tipo IV.	50
Tabla 11 : Registros de VPP de los proyectos disparados en el Tajo Jesica	52
Tabla 12: Registros de VPP de los proyectos disparados en Tajo Jesica Este.	53
Tabla 13: Cuadro comparativo de Costo de Voladura HA 46 vs SAN G.....	54
Tabla 14: Granulometría promedio obtenida con el uso de Heavy Anfo	55
Tabla 15: Análisis granulométrico con el Software Wipfrag en Tajo Jessica	56
Tabla 16: Análisis granulométrico con el Software Wipfrag Tajo Jesica Este.....	56
Tabla 17: Cuadro comparativo de factor de potencia HA 46 vs SAN G	57
Tabla 18: Cuadro comparativo de VODs	58
Tabla 19: Parámetros de perforación voladura	60
Tabla 20: Calculo de costo de voladura.....	61
Tabla 21: Cálculo de costo con el nuevo diseño.....	62
Tabla 22: Resumen de disparos con el modelo estándar	63
Tabla 23: Resumen de disparos con el nuevo diseño.	64

RESUMEN

El presente informe de trabajo profesional titulado “*USO DE EMULSIÓN GASIFICABLE SAN-G PARA REDUCIR EL COSTO DE VOLADURA EN LA UNIDAD MINERA ANDRÉS - JESSICA - ARUNTANI S.A.C.*”; Que se encuentra en distrito de Ocuveri, provincia de Lampa, Departamento de Puno.; donde el enunciado del problema ¿Cómo influirá la aplicación de la emulsión gasificable en el proceso de voladura para reducir los costos de voladura en la Unidad Minera Andrés – Jessica, empresa ARUNTANI S.A.C.?, cuyo objetivo es evaluar la aplicación de la emulsión gasificable en la columna explosiva para reducir los costos de voladura, además de evaluar el factor de potencia, la granulometría. Se implementó la emulsión gasificable con el mismo diseño de carga que el *Heavy Anfo* 4/6 con un taco de 2.50 metros, la emulsión gasificable con un esponjamiento de 0.80 metros después de media hora de carguío para tener el taco de final de 2.50 metros, luego se modificó a un taco final de 3.00 metros por la buena velocidad de detonación que se tuvo ,obteniendo los siguientes resultados de reducción de costo de voladura con el uso de la emulsión gasificable obtenida es de en 12.9 % menos que con el uso de *Heavy Anfo* y el factor de potencia se redujo en 9.8 %.

Palabras claves: Emulsión gasificable, costo de voladura, factor de potencia, *heavy anfo*.

REPORTE DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL

CENTRO DE TRABAJO : Unidad Minera Andrés - Jessica.

EMPLEADOR : Aruntani S.A.C

CARGO DESEMPEÑADO : Asistente de Perforación - Voladura.

PERIODO : Agosto 2014 – Julio 2019.

FUNCIONES :

- Supervisar el diseño de mallas de perforación, cargas explosivas en los taladros, la secuencia de salida de disparos y la evaluación de fragmentación de la roca
- Realizar el control de insumos de explosivos utilizados durante la ejecución del proceso de voladura mediante la revisión de inventarios.
- Supervisar el cumplimiento de la normativa en Seguridad, uso de EPPS, llenado de formatos (IPERC y/o afines) cumplimiento de PETS, Check List de equipos.
- Capacitar al personal de la Sección Perforación y Voladura en la ejecución operativa del procedimiento y Seguimiento de las normas de Seguridad en el trabajo.
- Coordinar con los encargados de guardia la ejecución de labores de limpieza y habilitación de vías adyacentes a las zonas de operaciones.
- Implementar nuevas técnicas de voladura para lograr mayor seguridad en las labores de la mina.
- Recomendar el uso adecuado de los tipos de explosivos, según la calidad del macizo rocoso de cada labor.

- Supervisar el cumplimiento de los trabajos de perforación y voladura en los frentes de trabajo verificando la calidad de los tipos de explosivos y aceros de perforación.
- Coordinar con los Jefes de Guardia la limpieza y habilitación de áreas de trabajo de perforación y voladura.
- Realizar informes mensuales en referencia al estado de las labores de perforación y voladura.
- Apoyar en la ejecución y aprobación del plan de minado.
- Ejecutar otras funciones inherentes al puesto de trabajo adjudicadas por el Jefe de Mina y/o Superintendencia General.

CENTRO DE TRABAJO : Unidad Minera Andrés - Jessica.

EMPLEADOR : Aruntani S.A.C

CARGO DESEMPEÑADO : Training en Perforación - Voladura.

PERIODO : Noviembre 2013 – Julio 2014.

FUNCIONES :

- Participar en las reuniones de trabajo seguro, coordinación y distribución de actividades de la guardia.
- Controlar el uso de equipos y de maquinarias intervinientes en la perforación y voladura
- Hacer cumplir los diseños de carga y secuencia de voladura y Supervisar el frente de trabajo.
- Supervisar el cumplimiento de la norma de seguridad, uso adecuado de EPPs y cuidado del medio ambiente.

- Ingreso y procesamiento diario de la data de producción de perforación y voladura, horas de equipos, para el valorizado del mes.

CENTRO DE TRABAJO : Unidad Minera Andrés - Jessica.

EMPLEADOR : Aruntani S.A.C

CARGO DESEMPEÑADO : Practicante Operaciones Mina.

PERIODO : Enero 2013 – Octubre 2013.

FUNCIONES :

- Control de ciclos y tiempos de carguío y transporte de volquetes de operaciones mina.
- Calculo de rendimientos de los equipos de línea amarilla.
- Control de tiempo de perforación

CENTRO DE TRABAJO : Cemento SUR.

EMPLEADOR : Grupo Gloria

CARGO DESEMPEÑADO : Practicante Materias Primas.

PERIODO : Junio 2011 – Diciembre 2011.

FUNCIONES :

- Controlar y supervisar equipos de perforación de Atlas Copco, Wagon Drill y Drac Drill.
- Asistente de la área de topografía para Actualizar planos de labores semanalmente con equipo Estación Total (Leica modelo TPS400)
- Asistente de operador de chancadora TEREX SEDARAPIS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La perforación y voladura es generalmente la primera, y tal vez la más importante operación minera unitaria en el ciclo total del minado. Los diseños de voladura inadecuado o de funcionamiento defectuoso podrían tener graves consecuencias a lo largo del ciclo de minado, es por ello que es importante tener en cuenta los tipos de explosivos que se va utilizar dependiendo del tipo de roca y el tipo de fragmentación que se desea obtener. La mezcla de emulsión y ANFO se ha identificado a lo largo de las operaciones de proyección como agente de voladura y seguro (Exsa, 2009).

La necesidad de tener voladuras con características óptimas en empresas mineras y el ingenio para la innovación tecnológica, han logrado que la Empresa Famesa fabrique recientemente un nuevo explosivo SAN-G, el cual es una emulsión gasificable tipo agua en aceite, con un adecuado balance de oxígeno, sensibilizada mediante el uso de una solución gasificable (N 20) lo que le permite obtener una alta velocidad de detonación, es seguro y resistente al agua.

Como resultado de la reacción química entre la emulsión matriz inerte y la solución N 20, se produce gas Nitrógeno que queda atrapado en burbujas dentro de la matriz.

Son estas burbujas de nitrógeno las que sensibilizan la emulsión. El SAN-G es sensibilizado en las operaciones mineras antes de su carguío en los taladros, mediante la dosificación de una solución gasificable produciendo una mezcla explosiva de menos densidad, resistente al agua, muy viscosa y de mayor velocidad de detonación que el ANFO pesado. La densidad del SAN-G es de 0.90-1.20 g/cm³. (Famesa, 2017).

En el presente informe da a conocer el uso de la emulsión gasificable SAN-G en la evaluación de reducción de costos de voladura en la unidad minera Andres – Jessica, para lo cual se compara con el explosivo *Heavy Anfo 4/6* (40% emulsión, 60 % anfo).

1.1. Planteamiento del problema

La voladura de rocas constituye una de las operaciones unitarias críticas dentro del ciclo de minado, por lo tanto cualquier mejora que se realice en la operación de perforación y voladura provocará una mejora en las actividades aguas abajo del ciclo general de minado, generando beneficios a lo largo de todo el proceso.

En la unidad minera Andrés – Jessica de la empresa Aruntani S.A.C., las voladuras se viene realizando con la mezcla *Heavy Anfo 4/6* (40% emulsion, 60 % anfo) en taladros secos y en los taladros con presencia de agua se usa un 6/4 (60% emulsion, 40 % anfo), con dos diseños de malla de perforación: 4.30 metros x 5.00 metros, en mineral y 4.50 metros x 5.20 metros en desmonte. El factor de potencia en promedio está en 0.40 kg/ton con un costo de voladura en promedio de 0.193 \$/ton.

Se propone usar la Emulsión Gasificable SAN-G como columna de carga para mejorar la fragmentación de la roca que es enviado directamente al Pad de Lixiviación.

Con la malla de perforación de 4.30 metros x 4.50 metros de mineral se estima reducir los costos de voladura en 12.15 % básicamente por el cambio de explosivo, en el caso de ampliar la malla de perforación a 4.50 metros x 5.20 metros de mineral se proyecta una reducción del 15.63 %.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influirá la aplicación de la emulsión gasificable en el proceso de voladura para reducir los costos de voladura en la Unidad Minera Andrés – Jessica, empresa ARUNTANI S.A.C.?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la aplicación de la emulsión gasificable en la columna explosiva para reducir los costos de voladura en la Unidad Minera Andrés – Jessica, empresa ARUNTANI S.A.C.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los costos comparativos de los dos explosivos para evaluar el porcentaje de la reducción de voladura.
- Evaluar la granulometría obtenida con el uso de la emulsión gasificada, para optimizar la fragmentación por voladura.
- Evaluar el factor de potencia en las zonas donde se utilizó la emulsión gasificada.
- Evaluar la velocidad de detonación obtenida de la emulsión gasificable para compararla con el *heavy* anfo.

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES

2.1. Ubicación y Acceso

La unidad Andrés - Jessica se encuentra ubicado en el distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa, departamento de Puno, aproximadamente a 800 Km al SE de la ciudad de Lima y a una distancia de 90 Km al NW de la ciudad de Juliaca en las partes altas de las micro cuencas de los riachuelos Azufrini y Huarucani que son afluentes del río Chacapalca.

Las coordenadas UTM en el centro del yacimiento son: 8 312,938 N y 304,095 E.

El acceso desde la ciudad de Lima es a través de las ciudades de Arequipa o Juliaca utilizando transporte aéreo o por carreteras asfaltadas.

Tabla 1. Ruta Juliaca – Unidad minera Andrés – Jessica

TRAMO	DISTANCIA (Km)	TIPO	TIEMPO (hr)
Juliaca - Lampa	33	Asfaltada	0.4
Lampa - Palca	35	Afirmada	0.6
Palca – Vila Vila	18	Afirmada	0.5
Vila Vila – Chivay	12	Afirmada	0.5
Chivay – Jessica	17	Trocha carrozable	0.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Ruta Arequipa – Unidad minera Andrés – Jessica

TRAMO	DISTANCIA (Km)	TIPO	TIEMPO (hr)
Arequipa – Imata	145	Asfaltada	2.0
Imata – Carretera a Tintaya	50	Afirmada	1.0
Carretera a Tintaya - Jessica	46	Afirmada	1.0

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Geología

El tajo Jessica es un yacimiento de tipo ácido sulfato (alta sulfuración) con una alteración sílice masiva, sílice vuggy-granular, sílice alunita, argelica, propilitica; emplazadas en rocas volcánicas de composición andesítica.

2.3. Geología Regional

Según el mapa geológico a escala 1:100,000 elaborado por el INGEMMET, la zona de la mina se ubica dentro del Grupo Sillapaca y Palca, que consiste de rocas volcánicas andesíticas a dacíticas. La litología infrayacente al Grupo Palca corresponde al Grupo Tacaza de época del Oligoceno a Mioceno y que aflora en la parte Oeste y Este del área.

2.3.1. Grupo Tacaza

Son efusiones ígneas volcánicas a través de fisuras alineadas en el borde sur occidental del actual Lago Titicaca, dando lugar a extensos derrames y emplazamientos volcánicos.

La litología que caracteriza a este grupo son las andesitas y andesitas traquíticas porfiríticas.

2.3.2. Grupo Palca

Son secuencias piroclásticas a sedimentarias que reposan discordante sobre el volcánico Tacaza, que forman superficies de plataforma disectada a una cota de aproximadamente 4600 msnm.

En los alrededores de Palca y hacia el norte, los planos de juntas facilitan la erosión, formándose zanjas profundas que le otorgan a los afloramientos un aspecto de fracturamiento, produciéndose prominentes bordes en los costados de los valles.

2.3.3. Grupo Sillapaca

Secuencia de composición dacítica a traquiandesítica. Principalmente se muestran como cordilleras cubiertas de nieve con picos por encima de los 5000 msnm.

2.4. Geología Estructural

Estructuralmente la región se ve afectada por formaciones plegadas y levantadas que siguen un alineamiento general andino NW-SE.

El rasgo estructural más importante en la región lo constituye el alineamiento volcánico del Tacaza- Sillapaca Este, cuya configuración al parecer fue y está controlado por sistemas de fallas de dirección NE-SE.

Otras estructuras reconocidas corresponden mayormente a alineamientos de falla de rumbo dominante NE-SW, conjuntamente con otros sistemas NW-SE.

Aparentemente algunas de estas estructuras, guarda relación con los procesos de alteración y mineralización del área.

Las brechas hidrotermales están emplazadas en el corredor estructural NW, con rumbos que van desde N60°-70°E y buzamientos de 70°-80° al NW y NS en la zona central del área y tienen extensiones al norte.

2.5. Geología Local

Según los estudios realizados se han diferenciado, de la base hacia arriba las siguientes unidades litológicas:

2.5.1. Grupo Palca

a) Ignimbrita Palca:

Es la base de toda la columna estratigráfica. Es una roca piroclástica que se caracteriza por presentar clastos polimícticos gruesos angulares, dacíticos y andesíticos, débilmente silicificada y con presencia de biotita y fenos de plagiocasas.

b) Clásticos Finos Palca:

Material clástico que se caracteriza por presentar líticos de tamaño fino a medio. Su coloración es marrón rojizo y generalmente se le encuentra fresco. Tiene un espesor promedio de unos 15 m.

c) Andesita Palca:

Es una secuencia delgada, afanítica, de coloración gris oscuro que se caracteriza por presentar vesículas orientadas de hasta 5 cm de longitud y también fenos de plagioclasas prismáticas.

2.5.2. Clásticos Chacapalca:

Material volcánico clástico trabajado. Se caracteriza por presentar clastos subredondeados color verdoso. Se observa esta secuencia al Oeste del Cerro Quimsachota. Su espesor varía de 50 a 150 m.

2.5.3. Grupo Sillapaca:

a) Volcanoclásticos La Rescatada:

Secuencia delgada de material clástico fino bandeado con presencia de pirita, orientadas según bandeamiento de la roca.

b) Andesita La Rescatada:

Se caracteriza por presentar flujos en bandas, textura vesicular, plagioclasas orientadas y presentar coloración marrón rojiza. El espesor en Jessica llega en promedio hasta los 40 m.

c) Volcánico clásticos Lamparasi:

Esta sub-unidad presenta niveles clásticos intercalados con niveles de tufos; brechas muy locales se aprecian en este horizonte. Este nivel se encuentra alterado en Jessica y presenta espesores de hasta 100 m.

d) Andesita Lamparasi:

Es una gruesa secuencia andesítica de textura vesicular que no presenta flujos en bandas. Se observan fenos de plagioclasas que gradan a granos gruesos al tope.

Este nivel puede llegar a tener 300 m de espesor y se ubica sobre los 4,900 m de altura. Se observa al centro del yacimiento Jessica.

2.6. Geología del depósito mineral Jessica

2.6.1. Litología

En el yacimiento Jessica, se tiene afloramientos principalmente de lavas andesíticas y tobas de textura fina, el fracturamiento que se observa en los taladros, se pudo haber originado por la intrusión de un cuerpo sub volcánico félsico sobre la lava andesítica anterior a la mineralización, este fracturamiento sirvió para el ascenso de fluidos hidrotermales, brechas y recirculación de aguas meteóricas.

Posterior a ello ocurren otras brechas hidrotermales y crackel y morrenas debido a eventos de desglaciación del Cuaternario.

2.6.2. Geología Estructural

Los fallamientos de tendencia E-W determinan la elongación del cuerpo mineralizado, principalmente dominado por estructuras N70° E, trasandino, cortando a estructuras N30° W, paralelas al rumbo andino. Se observa que la elongación del cuerpo mineralizado en Jessica coincide con el lineamiento estructural N80°E, por donde pudo haber ascendido un cuerpo subvolcánico félsico cortando a las intercalaciones de tobas y lavas andesíticas, esta ascensión provocó intenso fracturamiento, desorden estructural y espacios abiertos por donde ascendieron fluidos magmáticos, originando explosiones freáticas, alteración hidrotermal y ascensos subverticales de brechas freáticas hidrotermales con valores altos de Au.

Figura 1: Control estructural de Jessica tendencia E-W - N70°E.



Fuente: Geología Exploraciones Unidad Acumulación Andrés – Jessica

2.6.3. Alteraciones

Las alteraciones hidrotermales presentes en el proyecto Jessica son de un ambiente de alta sulfuración, los distintos ensambles de minerales de alteración están en función de la temperatura y ph, presentándose en forma de halos con respecto al foco.

Las alteraciones presentes en Jessica son las siguientes: sílice masiva (SM), sílice vuggy (SV), sílice alunita (SA), sílice arcillas (SC), argílica (C) y propilítica (P).

a) Sílice vuggy (SV)

Presenta gradando a la sílice masiva, con una textura oquerosa (porosa), presenta óxidos de hierro principalmente hematita y goethita y sulfatos como la jarosita en las oquedades y en las fracturas.

b) Sílice alunita (SA)

Esta alteración se encuentra gradando a sílice vuggy dentro de sus ensambles mineralógicos se tiene a la sílice y la alunita de una textura selectiva ya que conserva la textura de la roca, la alunita se encuentra reemplazando a las plagioclasas presentando una textura porfiroblástica y en algunos casos rellenando fracturas.

c) Sílice arcillas (SC)

Se encuentra gradando a la sílice alunita (SA), dentro de sus ensambles mineralógicos se tiene a la sílice y arcillas principalmente a la dickita y pirofilita, conserva la textura original de la roca caja siendo de una textura porfiroblástica.

En el proyecto Jessica este tipo de alteración asociada a pequeñas estructuras aflorantes al Suroeste del área, presenta óxidos de hierro principalmente hematita en fracturas.

d) Argílica (C)

Esta alteración se encuentra gradando la sílice a arcilla, está más alejada del foco, dentro de sus minerales se tiene al caolín, illita y esmectita con piritita diseminada, de una textura porfiroblástica deleznable.

e) Propilítica (P)

En esta alteración presenta minerales principales de clorita y poco o casi nada de epidota, se presenta alejado del sistema y de dimensiones muy pequeñas. Gradando a esta, se tiene rocas con alteración (fresca), óxidos de hierro en fracturas.

2.7. Mineralización

El yacimiento Jessica es de tipo ácido sulfato conteniendo oro diseminado. Se tiene una correspondencia Au-jarosita, en un contexto de sílice granular con contenidos de jarosita.

Hay también una débil correspondencia Au-baritina, en roca con alteración sílice granular con presencia de cristales tabulares de baritina transparente.

En la parte superior del yacimiento, se observan sectores con presencia de pirita fina diseminada en venillas con sílice gris.

Los valores altos en Oro se asocian a la brecha hidrotermal con goetita, jarosita y hematita en cavidades y matriz; ocasionalmente se reconocen cuerpos de sílice con cristales de baritina que también determinan leyes altas de oro.

Figura 2: Abundante jarosita impregnada sobre roca silicificada – alunita



Fuente: Geología Exploraciones Unidad Acumulación Andrés – Jessica

2.7.1. Tipos de Brechas

Se considera que las brechas se originaron por intrusión, fallamiento o fracturamiento y transformación violenta del agua sobrecalentada a vapor que condujo a una explosión hidrotermal.

a) Brecha Hidrotermal.-

Se caracteriza por presentar minerales hidrotermales en la matriz tales como alunita, sílice calcedónica, óxidos de hierro y azufre.

Por lo general los líticos tienen textura obliterada. Usualmente cortan a las brechas freáticas; presentan mineralización económica.

Se sabe que los fluidos hidrotermales participantes son en su mayoría de origen magmático y son los que contienen metales a ser depositados según las condiciones termodinámicas.

b) Brecha Freática.-

Caracterizada por tener clastos angulosos a sub angulosos lixiviados, porosidad primaria, los fragmentos se encuentran fuertemente silicificados, se observan en el centro del yacimiento, estas brechas hidrotermales originan halos de crackel brecha generando grandes masas de brechas.

c) Brecha Tectohidrotermal.-

Ocurrida por fracturamiento durante el movimiento de fallas; las brechas de fallas están asociadas con la mineralización.

En los taludes de los bancos se observan cuerpos sub verticales de brecha de falla mineralizados con alta ley, especialmente en sectores tensionales de fallas.

d) Brecha Crackel.-

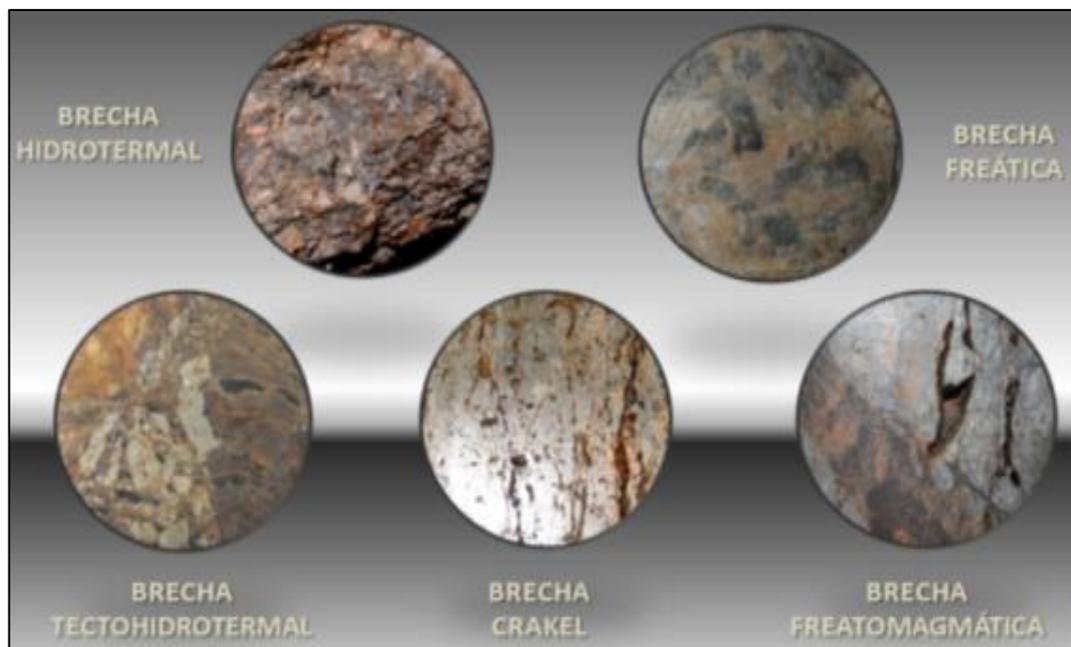
Producto de la intrusión de las brechas hidrotermales freáticas que generaron zonas y halos micros fracturados, craquelados, caracterizados por presentar clastos y matriz de la misma roca (rompimiento).

Siendo el protolito la andesita en su mayor parte, las brechas crackel se presentan con una disposición sub horizontal buzando aproximadamente 15° hacia el norte.

e) Brecha Freatomagmática.-

Se originan mediante explosión debido al contacto entre el magma y las aguas subterráneas, es polimíctica, con clastos angulares a sub redondeados, incluye líticos de roca caja y tiene matriz porfirítica.

Figura 3: Tipos de Brechas



Fuente: Geología Exploraciones Unidad Acumulación Andrés – Jessica

2.8. Descripción de operaciones mina

2.8.1. Descripción del tajo abierto.

La unidad minera Andrés – Jessica es una mina con método de explotación a tajo o cielo abierto (*open pit*); siendo una de las características principales de su diseño sus bancos de explotación son de 8 metros de altura.

En la actualidad posee una producción promedio diaria de 24,500 toneladas de material, y opera las 24 horas del día los 363 días del año, en turnos de 10 horas lo cual la convierte en uno de los tres primeros productores de Au del Perú.

El diseño de tajo abierto desde un punto de vista minero-económico es altamente complejo e involucra un análisis de muchos datos tales como: Las condiciones de mercado, la oferta y la demanda no pueden ser estimados con exactitud para un determinado periodo razón por la cual se incorpora la flexibilidad a la adaptación a los cambios imprevisibles del mercado durante la operación de la mina, características operacionales de los equipos para cada operación unitaria

Los parámetros técnicos de diseño del *pit* principal Jessica se detallan a continuación.

- Angulo de talud final del *pit* : 45°
- Altura de banco : 8 m
- Ancho de banco : 4.27 m
- Angulo talud inter-berma : 65°
- Ancho de carretera : 12 m
- Operación a doble banco : 16 m

2.8.2. Perforación

Para esta actividad se utiliza perforadoras DM-45E con brocas de diámetros de 6 3/4" y una longitud de 8 metros de altura del banco (vertical)

La penetración de la broca en la roca se logra por parámetros de presión de empuje (*pull down*) y velocidad de rotación; el barrido del detritus se realiza mediante aire comprimido. La malla empleada depende de la dureza de la roca, densidad del explosivo y del macizo rocoso.

La malla estimada por el área de perforación y voladura es de 4.30 x 5.00 metros para mineral y desmonte es de 4.50 x 5.20 metros. Este diseño es un factor muy importante, puesto que cualquier buen resultado de la voladura es mérito de una buena marcación de la malla y con una perforación adecuada se realiza una correcta limpieza de las áreas a perforar.

El monitoreo de la operación se realiza día a día a través de un sistema de control de producción y performance de equipos (fragmentación de rocas por voladura, velocidad de carguío, utilización de equipos.) que son manipulados por los supervisores. La información obtenida permite identificar desviaciones con respecto a lo planeado y tomar las decisiones correctivas.

2.8.3. Voladura

Se coordina con operaciones mina todo lo referente a la perforación de los taladros para producción, se entrega mapas o planos de dureza relacionadas a las alteraciones del material que es utilizado para el diseño de la malla de voladura.

El área de voladura coordina con Geología los problemas de percolación como fracturamiento y/o silicificación en las rocas en determinadas zonas del tajo como producto del cizallamiento que también origina desgaste prematuro en las rocas.

El objetivo principal es tener un material fragmentado uniforme, que será dispuesto para la lixiviación y recuperación.

En este proceso se emplea *boosters* (empleados en la iniciación de voladuras a tajo abierto) de una libra con líneas descendentes no eléctricos con tiempos en milisegundos y para el amarre troncal se utiliza retardos de superficie.

El carguío de taladros se realiza mediante un camión fábrica que realiza las mezclas de ANFO y *heavy* ANFO, según las consideraciones del material a fragmentar y el porcentaje de contenido de agua. Posteriormente se tapan los taladros con los detritos producto de la perforación utilizando tacos de 3.0 metros y 2.5 metros, el encendido se realiza convencionalmente utilizando mecha de seguridad de 7 pies con fulminante N°8.

2.8.4. Explosivos, agentes y accesorios de voladura utilizados:

2.8.4.1. Definición de explosivos:

Son productos químicos, sólidos o líquidos que bajo la acción de un fulminante u otro estímulo externo (como impacto y calor) reaccionan instantáneamente con gran violencia, creando un fuerte efecto de impacto seguido por un gran volumen de gases, que se expanden con gran energía.

Al emplearse en voladura, el impacto fisura y tritura la roca, mientras que los gases desplazan a los fragmentos.

El impacto es producido por una onda de choque de muy alta velocidad y presión, que varían según el tipo de composición del explosivo.

2.8.4.2. Agentes de voladura

Los agentes explosivos consisten en una mezcla de sustancias, combustible y oxidante, que incentivadas debidamente dan lugar a una reacción exotérmica muy rápida, del orden de milésimas de segundo, que genera una serie de productos gaseosos a altas temperaturas y presión, químicamente más estables que ocupan un mayor volumen, aproximadamente 1000 a 10000 veces mayor que el volumen original, lo cual les confiere la gran capacidad expansiva capaz de remover y proyectar la roca circundante.

Agentes de voladura acuosos, como los hidrogeles y Slurryes. Agentes de voladura secos como el anfo.

2.8.4.2.1. Anfo.

Este agente de voladura es una mezcla de alta calidad, compuesto por Nitrato de Amonio + Petróleo Diesel N° 02, es muy utilizado en las empresas mineras.

Por regla de tres simple tenemos que esta mezcla estequiométrica corresponde a un 94,48% de NA y un 5,52% de combustible y representa el desprendimiento máximo de energía.

2.8.4.2.2. Heavy anfo (anfo pesado).

Estos agentes son producto de la mezcla de emulsiones con el anfo en diversas proporciones, lo que constituye una de las características más importantes de este tipo de explosivo.

El resultado de estas mezclas es obtener productos cuyas propiedades varían entre las del ANFO y las de las emulsiones. Cuando la proporción de la emulsión es menor se tiene explosivos de baja densidad y poca resistencia al agua, hasta aquellos con proporciones mayores de emulsión que tienen gran resistencia al agua.

Tabla 3: *Mezclas de Heavy ANFO*

AGENTE	COMPOSICIÓN	ESPECIFICACIÓN
Heavy Anfo 1/9	10% de Emulsion y 90% de Anfo	Roca media
Heavy Anfo 2/8	20% de Emulsion y 80% de Anfo	Roca media
Heavy Anfo 3/7	30% de Emulsion y 70% de Anfo	Roca media
Heavy Anfo 4/6	40% de Emulsion y 60% de Anfo	Roca dura con presencia de Agua
Heavy Anfo 5/5	50% de Emulsion y 50% de Anfo	Roca dura con presencia de Agua
Heavy Anfo 6/4	60% de Emulsion y 40% de Anfo	Roca dura con bastante presencia de Agua

Fuente: Perforación - Voladura Unidad Acumulación Andrés – Jessica

Las mezclas usuales de Emulsión/ANFO, utilizados en la Unidad Minera Acumulación Andrés - Jessica son los siguientes: 4/6 y 5/5.

2.8.4.3. Accesorios de voladura

Se entienden como accesorios de voladuras a aquellos productos que permiten conectar, transmitir e iniciar los explosivos secundarios a través de cargas controladas, secuenciadas y seguras. Como son cordón detonante, booster y faneles duales.

Los accesorios de voladura utilizados en la Unidad Minera Acumulación Andrés - Jessica, para realizar la secuencia de salida de los taladros son los siguientes:

a) *Booster o cebos primers:*

Este accesorio de voladura, trabaja como iniciador de la columna explosiva, tiene alta potencia, presión y velocidad de detonación; presenta alta resistencia al agua.

Está fabricado en base a pentolita, este es activado por fulminante.

En la Unidad Minera Acumulación Andrés - Jessica, se está utilizando *boosters* de 1 Lbs. Cuyas especificaciones técnicas son:

- Densidad 1.60 g/cm³.
- Velocidad de detonación 7000 m/s.
- Presión de detonación 202 Kba.
- Resistencia al agua Excelente.

b) *Cordón detonante:*

Este accesorio de voladura, está compuesto por un núcleo de un explosivo conocido como pentrita.

En la Unidad Minera Acumulación Andrés - Jessica, se utiliza el cordón detonante 5G. Este accesorio es utilizado para transmitir la onda detonante desde una carga explosiva a otra.

Debido a su alta potencia es capaz de iniciar explosivos sensibles al fulminante común N° 08.

c) *Mecha de seguridad:*

También llamada mecha lenta. Es un cordón flexible compuesto por un núcleo de pólvora negra recubierto por fibras de algodón, brea y un forro de plástico.

El tiempo de combustión, en fábrica, varía entre 150 y 200 segundos/metro (45 a 60 segundos/pies) en promedio. Este tiempo usualmente varía 01 segundo por cada 100 m de altura, por lo que debe medirse en mina.

La mecha de seguridad es utilizada para transmitir energía desde un punto a otro, por medio de la combustión del núcleo de pólvora, en un tiempo determinado por la longitud de la mecha.

En la Unidad Minera Acumulación Andrés - Jessica, se utiliza Mecha de seguridad de 7 pies. Los cuales conducen la energía a una velocidad de 1pie./min.

d) Detonadores no eléctricos (faneles duales):

Estos accesorios son utilizados para iniciar en forma segura y precisa a los explosivos sensibles al fulminante N° 08: como *booster*, dinamitas, emulsiones encartuchadas, etc. Este producto está conformado por cuatro elementos principales.

Tubo de choque (El cual transmite por su interior una señal de baja energía a una velocidad de 2000 m/s), cápsula detonante (Incluye el elemento de retardo), etiqueta (Indica el periodo de retardo de la serie y el tiempo nominal de detonación) y el conector J (Para unir el tubo de choque a una línea troncal de retardo de superficie).

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL OBJETIVO

3.1. Implementación del emulsión gasificada San - G

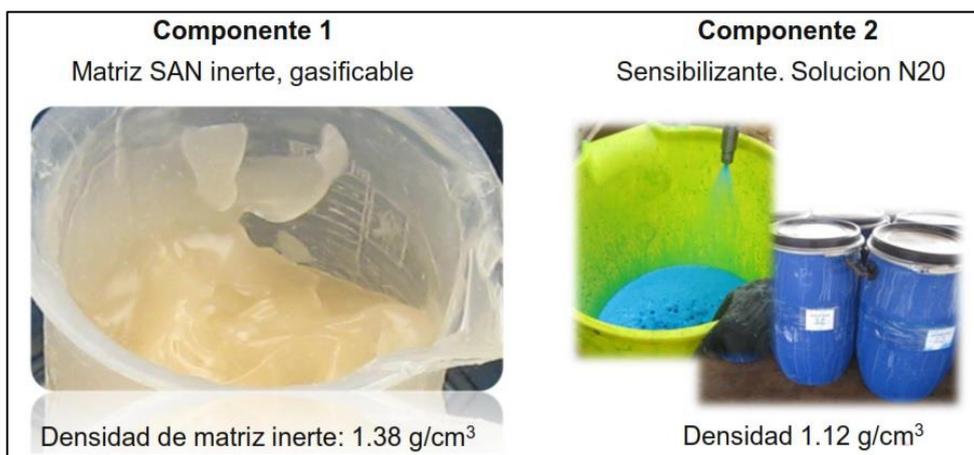
3.1.1. Definición de emulsión gasificable San – G

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 como principales características:

- Una menor densidad
- Una alta velocidad de detonación.
- Altamente resistente al agua.
- Segura cuando es sensibilizada.

Figura 4: Componentes de la Emulsión Gasificada SAN-G



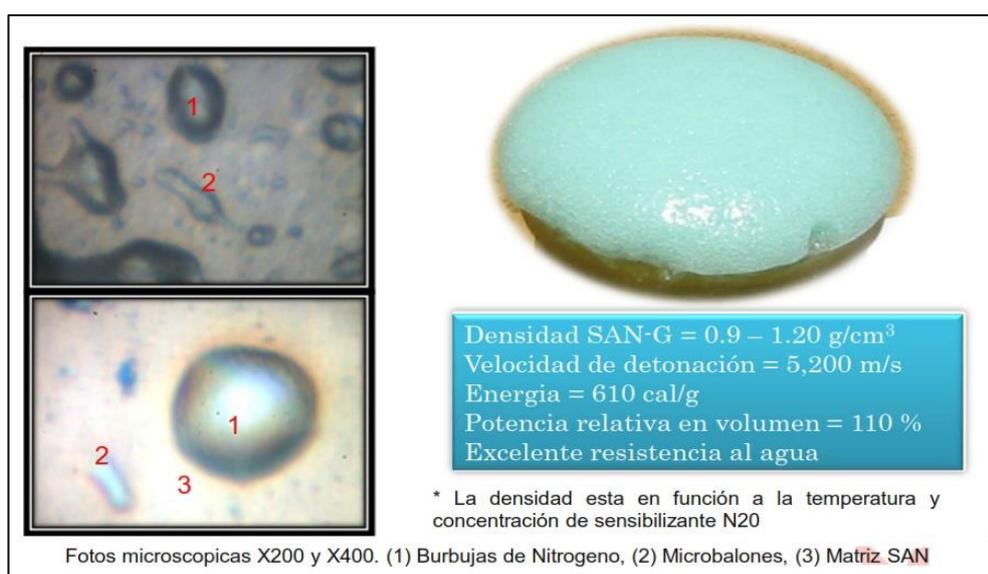
Fuente: Famesa explosivos

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

Como resultado de la reacción química entre la emulsión matriz inerte y la solución N-20, se produce gas nitrógeno que queda atrapado en burbujas dentro de la matriz.

Son estas burbujas de nitrógeno las que sensibilizan la emulsión.

Figura 5: Proceso de sensibilización



Fuente: Famesa explosivos

3.1.2. Características técnicas

Siendo una de las características principales del SAN G, disminuir la cantidad de explosivo a utilizar por taladro dejando un taco inicial menor al taco de diseño. Al lapso de 30 minutos se llegara al taco y densidad final.

La velocidad de esponjamiento y el porcentaje de solución sensibilizante N-20 a adicionar, están en función a la temperatura de la emulsión matriz gasificable.

Tabla 4: *Características técnicas*

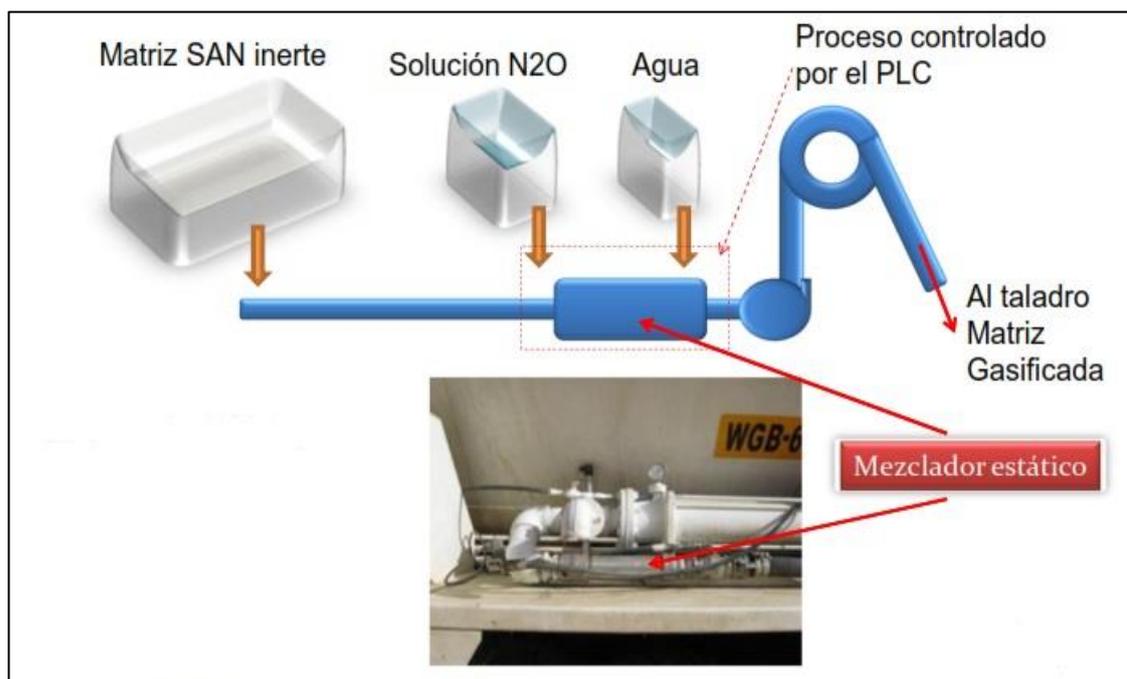
CARACTERÍSTICAS DE LA SAN-G		
DENSIDAD YA GASIFICADA	g/cm ³	0.90 a 1.20
VELOCIDAD DE DETONACIÓN	m/s	4,600 a 5,500
ENERGÍA	Kcal/Kg	610
VOLUMEN NORMAL DE GASES	L/Kg	988
RESISTENCIA AL AGUA		Excelente
CATEGORÍA DE HUMOS		Primera
CARACTERÍSTICAS DEL N-20		
ESTADO		Líquido acuoso de color verde esmeralda
VISCOSIDAD A 20°C	cP	1
DENSIDAD A 20°C	g/cm ³	1.24
PH		5.1

Fuente: Famesa explosivos

3.1.3. Esquema de fabricación en el camión fabrica

La solución N20 ingresa al mezclador estático, por donde pasa la emulsión matriz, luego se inyecta agua para facilitar el bombeo.

Figura 6: Fabricación en el camión fabrica



Fuente: Famesa explosivos

Figura 7: Fabricación de la SAN-G



Fuente: Famesa explosivos

(Exsa SA, 2009) considera que una voladura se evalúa por los resultados obtenidos.

Para calificarla se consideran los siguientes aspectos:

a) El volumen o tonelaje del mineral movido

Deberá ser igual o cercano al volumen teórico calculado previamente considerando el esponjamiento del mineral roto (Exsa SA, 2009).

b) Avance del disparo

El avance del frente disparado en voladura de bancos en superficie deberá sobrepasar la última fila de taladros. Por otro lado, si sobrepasa el límite especificado resultarán problemas de costo, y en ciertos casos problemas de estabilidad y gastos de sostenimiento (Exsa SA, 2009).

c) El nivel del piso en bancos o el piso del nuevo banco disparado debe resultar al mismo nivel del existente.

Si se presentan irregularidades como lomos (*toes*), debe presumirse muy poca sobre perforación o falta de carga de fondo. Estos lomos dificultan el trabajo de las palas cargadoras y requieren trabajo adicional, usualmente de voladura secundaria para eliminarlos. (Exsa SA, 2009).

d) El grado de fragmentación del mineral disparado o el tamaño promedio requerido de los fragmentos depende del trabajo en que se van a emplear.

Por lo general la fragmentación demasiado gruesa o demasiado menuda, es inconveniente. Debe observarse el porcentaje de rocas grandes que tendrán que ser reducidos posteriormente. La fragmentación tiene relación directa con la facilidad de paleo y transporte y con sus costos (Exsa SA, 2009).

e) La sobre rotura (*over break*) y la sobre rotura hacia atrás (*back break*) en bancos.

Afectan la estabilidad de la nueva cara libre de voladura y a los taladros que hayan sido perforados a continuación de la última fila disparada.

Generalmente indica exceso de carga explosiva en la última fila de taladros. Aparte de condiciones geológicas de incompetencia, debilidad estructural y alto grado de fracturamiento, tienen responsabilidad en este problema el exceso de carga explosiva y/o el encendido instantáneo o con tiempos muy cortos entre taladros, debido al fuerte golpe que producen (Exsa SA, 2009).

f) El desplazamiento y acumulación del mineral volado.

Debe ser adecuado para facilitar las operaciones de carga y acarreo. La forma de acumulación se proyecta de acuerdo al tipo de equipo que se va a emplear en la limpieza del disparo. La forma aproximada de los montículos de detritos se consigue con el trazo de perforación y con el diagrama del tendido de iniciación, distribución de los retardos y de la disposición de las caras libres.

Así, una distribución con amarres en “V” resulta en un montículo central, mientras que un amarre en líneas longitudinales resultará en acumulación a lo largo de toda la cara del frente disparado (Exsa SA, 2009).

g) La falta de desplazamiento.

Cuando un disparo rompe mineral pero no se mueve de su sitio, se dice que el tiro se ha “congelado”. Esto se traduce en mala fragmentación en la parte inferior e interior del banco, en dificultad para la remoción del mineral roto. Esto ocurre generalmente cuando los retardos no funcionan o no han sido distribuidos adecuadamente (Exsa SA, 2009).

h) La dispersión de fragmentos a distancia (*fly rocks*).

Además de incrementar el riesgo de proyección de fragmentos volantes, tiene el inconveniente en minas de “diluir” el mineral de valor económico al mezclarlo con desmote, cuando se desparrama lejos de la cara de voladura (Exsa SA, 2009).

i) La generación de humos.

Se la califica por porcentajes dependiendo de la coloración de los mismos, los cuales pueden ser anaranjados (gases nitrosos) o grises (gases carbonosos). Los humos están íntimamente vinculados con la calidad del explosivo fabricado, por lo que el control de la calidad de los insumos como el producto final debe ser estrictamente evaluados (Exsa SA, 2009).

j) VOD.

Es la velocidad con la cual la onda de detonación viaja por el explosivo, puede ser expresada para el caso de explosivos confinados como no confinados; por sí misma es la propiedad más importante cuando se desea clasificar un explosivo. Como en la mayoría de casos el explosivo está confinado en un taladro, el valor de velocidad de detonación confinada es el más importante (Exsa SA, 2009).

k) La densidad.

La densidad del explosivo es usualmente indicada en términos de gravedad específica, la gravedad específica de explosivos comerciales varía de 0.6 a 1.7. Los explosivos densos usualmente generan mayores velocidades de detonación y mayor presión; estos suelen ser utilizados cuando es necesaria una fina fragmentación de la roca. Los explosivos de baja densidad producen una fragmentación no tan fina y son usados cuando la roca está diaclasada o en canteras en las que se extrae mineral grueso (Exsa SA, 2009).

l) Velocidad Pico Partícula.

Las voladuras producen vibraciones en el subsuelo que pueden causar daños en las estructuras circundantes debido a los esfuerzos y deformaciones de tipo dinámico que se superponen a las estáticas.

Los estudios teóricos muestran que la velocidad a la que se desplazan las partículas en el subsuelo es la variable determinante de la magnitud de los esfuerzos a los que son sometidas las estructuras (Exsa SA, 2009).

m) Factor de potencia.

Es la relación entre el número de kilogramos de explosivos empleados en una voladura determinada y el número de toneladas a romper producto de esa voladura o el volumen correspondiente en metros cúbicos a romper. Las unidades son kg/TM o kg/m³ (Exsa SA, 2009)

3.2. Soluciones teóricas y prácticas

3.2.1. Solución Teórica

Se recolecto información de datos del área de perforación voladura como los parámetros con el uso de *heavy* anfo 4/6 mediante los reportes de voladura para compararlos con el uso de la emulsión gasificable en la columna de carga, así mismo se recolecto los datos de oficina tecnica para obtener el histórico de los costos de voladura y Kpis.

3.2.2. Solución Práctica

Para obtener resultados se utilizó las siguientes herramientas y materiales.

- Kit de densidades, para la medición de la emulsión gasificable
- Microtrap, para la medición de la velocidad de detonación
- Sismógrafo White, para la medición de las vibraciones
- Software Wipfrag, para la medición de la granulometría
- Software JK SIMBLAST, para la simulación de los disparos.

CAPITULO IV

APLICACIÓN

Las pruebas se desarrollaron en los Tajos Jessica y Jessica Este (calidad de roca de media a dura), donde se usó la emulsión gasificable SAN - G bajo las mismas condiciones de diseño que con *heavy* anfo 4/6 un total de 18 disparos y modificando el diseño un total de 10 disparos.

4.1. Densidades de la emulsión gasificable SAN-G

Durante las pruebas con la emulsión gasificable San G se trabajó con densidades de 1.0 g/cc hasta 1.10 g/cc estos valores son controlados mediante la temperatura de la emulsión matriz San G y el porcentaje de sensibilizante de N-20, a continuación se detalla la tabla 5, resumen de las densidades finales de la San-G.

Tabla 5: Densidad final a los 30 minutos, la temperatura del SANG y el % de N 20

Temperatura (C°)	% N 20 +/- 0.02	Densidad Final
36 a 39	0.75	0.95
	0.70	1.00
	0.65	1.10
31 a 35	0.80	0.95
	0.75	1.00
	0.70	1.10
26 a 30	0.85	0.95
	0.80	1.00
	0.75	1.10
21 a 25	0.90	0.95
	0.85	1.00
	0.80	1.10
16 a 20	0.95	0.95
	0.90	1.00
	0.85	1.10
11 a 15	1.00	0.95
	0.95	1.00
	0.90	1.10
6 a 10	1.20	0.95
	1.15	1.00
	1.10	1.10
0 a 5	1.40	0.95
	1.14	1.00
	1.20	1.10

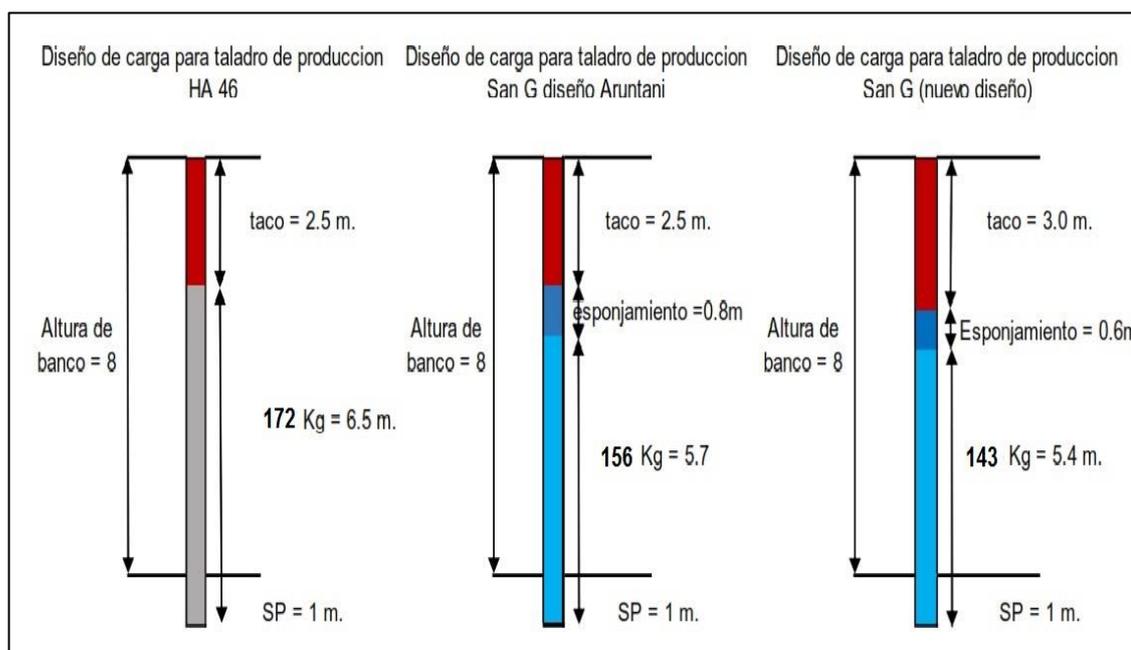
Fuente: Famesa explosivos

4.2. Tipo de densidad emulsión gasificable San G usada

Por la condición del macizo rocoso, el explosivo usado en esta zona fue “San G”, con densidad promedio de 1.10 gr/cc y los parámetros más relevantes obtenidos fueron los siguientes:

- Se obtuvo una VOD promedio de 5330 m/s con una densidad de 1.1 gr/cc.
- Se obtuvo un factor de potencia promedio de 0.40 Kg/ton con el diseño de carga estándar de Heavy 4/6.
- Se obtuvo un factor de potencia promedio de 0.36 Kg/ton con el nuevo diseño de carga planteado.

Figura 8: Diseños de carga usados en la unidad minera



Fuente: Perforación Voladura Aruntani.

4.3. Tipos de alteración en la unidad minera

Los tipos de alteración en el tajío Jessica es la sílice granular se presenta en zona central y oeste, sílice masiva predomina hacia el este, sílice alunita predomina en la oeste, sílice clay se presenta hacia este, sílice pirita esta alteración son puntuales.

La sílice clay pirita se presenta principalmente hacia el norte y oeste, mientras que en los bordes hay presencia de sílice alunita arcillas a argílico (clay).

Litología: Conformada básicamente por rocas andesíticas (roca fresca), se van presentando hacia el norte del tajo.

Figura 9: Cuadro de alteraciones y dureza

Grado de Dureza		
ALTE	DESCRIPCION	DUREZA
SM	Silice Masiva	MUY DURO
BX	Brecha hidrotermal	MUY DURO
SCP	Silice Clay Pirita	DURO
SG	Silice Granular	DURO-MODERADO
SA	Silice alunita	MODERADO
SC	Silice Clay	MODERADO
RF	Roca Fresca	MODERADO
C	Clay	SUAVE
PRO	Propilitico	SUAVE

Fuente: Área geotecnia Mina

4.4. Caracterización geomecánica en la unidad minera

Resultados de los datos recogidos del campo:

Tabla 6 : Sílice masiva es una roca buena muy buena calidad tipo de II a I.

Alteración	Densidad (gr/cm3)	Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	Resistencia a la Tracción (Mpa)	Cohesión (kpa)	Fricción (°)	RMR
SM	2.41	80	8	295	35	59
SM	2.41	175	17.5	330	38	66
SM	2.41	150	15	315	37	63
SM	2.41	99	9.9	355	41	71

Fuente: Área geotecnia Mina

Tabla 7: *Sílice granular es una roca buena de tipo II*

Alteración	Densidad (gr/cm ³)	Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	Resistencia a la Tracción (Mpa)	Cohesión (kpa)	Fricción (°)	RMR
SG	2.29	95	9.5	355	41	71
SG	2.29	165	16.5	325	38	65
SG	2.29	95	9.5	290	34	58
SG	2.29	86	8.6	305	36	68
SG	2.29	95	9.5	350	40	70

Tabla 8: *Sílice alunita es buena a regular tipo II a III.*

Alteración	Densidad (gr/cm ³)	Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	Resistencia a la Tracción (Mpa)	Cohesión (kpa)	Fricción (°)	RMR
SA	2.39	65	6.5	300	35	60
SA	2.39	65	6.5	290	34	58
SA	2.39	65	6.5	335	39	67
SA	2.39	90	9	355	41	71
SA	2.39	65	6.5	315	37	63
SA	2.39	54	5.4	335	39	67
SA	2.39	72	7.2	370	42	74

Tabla 9 : *Sílice clay pirita es una roca buena tipo II.*

Alteración	Densidad (gr/cm ³)	Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	Resistencia a la Tracción (Mpa)	Cohesión (kpa)	Fricción (°)	RMR
SCP	2.41	112	11.2	300	35	60
SCP	2.41	112	11.2	335	39	67
SCP	2.41	112	11.2	345	40	69
SCP	2.41	92	9.2	300	35	60
SCP	2.41	64	6.4	320	37	64
SCP	2.41	64	6.4	360	41	72
SCP	2.41	63	6.3	340	39	68
SCP	2.41	63	6.3	265	32	53

Fuente: Área geotecnia Mina

Tabla 10 : Clay es una roca pobre tipo IV.

Alteración	Densidad (gr/cm ³)	Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	Resistencia a la Tracción (Mpa)	Cohesión (kpa)	Fricción (°)	RMR
C	2.39	27	2.7	200	25	40
C	2.39	27	2.7	250	30	50
C	2.39	27	2.7	235	29	47
C	2.39	27	2.7	200	25	40
C	2.39	27	2.7	180	23	36

Fuente: Área geotecnia Mina

- En la zona central del tajo se presenta sílice granular sus características geomecánicas es bueno tipo II.
- La sílice clay piritita y la roca fresca se presenta en la parte norte y oeste, son de tipo II a III.
- La sílice alunita es tipo de roca regular a buena de tipo III.
- La sílice clay bordea siendo una roca pobre tipo IV.

4.5. Monitoreo de las Vibraciones.

Para monitorear las vibraciones se utilizó un sismógrafo de marca White, modelo Mini- Seis III, 01 Geófono triaxial el cual mide la velocidad pico partícula (VPP) en los tres ejes; Longitudinal, Vertical y Transversal que se genera producto de la voladura, la información es leída por el geófono Triaxial y transmite esta información al sismógrafo mediante archivos digitales los cuales son almacenados y posteriormente son analizados para determinar diferentes aspectos de la señal.

Se concluye que en las zonas de disparo del tajo se presenta sílice granular sus características geomecánicas es bueno tipo II.

Con la finalidad de conocer la velocidad crítica del macizo rocoso y la velocidad de la onda P se obtuvo datos del área de Geotecnia de Jesica, obteniendo un RMR básico de la roca es 68, y una Resistencia a la Compresión Simple de 86 MPa.

Considerando un valor de 0.9 para la calidad de la voladura, el resultado que se obtiene es: V crítica = 111.2 mm/s y la velocidad de la Onda P es de 4,658 m/s. Cómo se muestra en la figura 10.

Figura 10: Cuadro de VPP crítico para la Zona de Sílice Granular

INPUT DATA		
Resistencia Compresiva de roca intacta	σ_{ci}	86 Mpa
Calidad de Voladura	D	0.9
Calidad de la masa rocosa (Bieniawsky)	RMR ₇₆	68
OUTPUT DATA		
Q (Barton) = EXP((RMR ₇₆ -44)/9)	Q	14.39
Constantes de masa rocosa (s, a)		
s = EXP((RMR ₇₆ -100)/(9-3D))	s	0.0062
a = 1/2 + 1/6(e ^{-RMR₇₆/15} - e ^{-20/3})	a	0.5016
Resistencia Compresiva de masa rocosa		
$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} * s^a$	σ_{cm}	6.73 Mpa
Modulo de Elasticidad		
E = 10 ^{(RMR₇₆-10)/40}		28.18 Gpa
Velocidad de la onda P		
Vp = 3,500 + 1,000 Log Q	Vp	4658.12 m/s
Vel. Crítica (Vcrit)		
Vcrit = 0,1 x σ_{cm} x Vp / E	Vcrit	111.2 mm/s
1,4 Vcrit		155.7 mm/s

Fuente: Área geotecnia Mina

En el Tajo Jessica se monitorearon 08 disparos en campo cercano a una distancia promedio de 30-170 metros del proyecto hacia el talud teniendo lecturas promedio menores de 64.1 mm/s, cabe mencionar que estas lecturas están por debajo de los límites permisibles o VPP crítico que es 111.2 mm/s para tipos de roca como Sílice Granular predominantes en los proyectos disparados a continuación se detalla en la tabla 11, los resultados obtenidos.

Tabla 11 : Registros de VPP de los proyectos disparados en el Tajo Jessica

Proyecto	Tajo	Distancia (m)	Vector suma (mm/s)	VPP Tran mm/s	VPP vert mm/s	VPP long mm/s	Carga operante kg/retardo
4776_11	Jessica	60	36.80	23.70	34.20	25.30	825
4768_06	Jessica	50	30.30	19.90	26.90	15.60	680
4792_15	Jessica	40	80.90	43.20	39.50	74.50	1080
4784_12	Jessica	45	64.50	47.10	34.00	51.60	790
4960_22	Jessica	170	2.80	2.18	1.57	2.05	750
4768_08	Jessica	30	64.10	29.30	51.10	56.30	850
4776_14	Jessica	25	21.50	12.10	14.60	21.40	526
4768_10	Jessica	90	35.20	26.30	16.80	34.90	825

Fuente: Área perforación voladura Aruntani.

En el Tajo Jessica Este se monitorearon 12 disparos en campo cercano a una distancia promedio de 28-100 metros del proyecto hacia el talud teniendo lecturas promedio menores de 109 mm/s, cabe mencionar que estas lecturas están por debajo de los límites permisibles o VPP crítico que es 111.2 mm/s para tipo de roca como Sílice Granular predominantes en los proyectos disparados a continuación se detalla en la tabla 12, los resultados obtenidos.

En el tajo Jessica se monitorearon 08 disparos en campo cercano a una distancia promedio de 30-170 metros del proyecto hacia el talud teniendo lecturas promedio menores de **64.1 mm/s**, en el Tajo Jessica Este se monitorearon 12 disparos en campo cercano a una distancia promedio de 28 -100 metros del proyecto hacia el talud teniendo lecturas promedio menores de **109 mm/s**, en todos los proyectos disparados se obtuvieron registros por debajo de la Velocidad Pico Partícula para zonas con el tipo de Rocas de Sílice Granular.

Tabla 12: Registros de VPP de los proyectos disparados en Tajo Jessica Este.

Proyecto	Tajo	Distancia (m)	Vector suma (mm/s)	VPP Tran mm/s	VPP vert mm/s	VPP long mm/s	Carga operante kg/retardo
5092_02	Jessica Este	35	87.90	60.40	67.10	82.30	825
5096_03	Jessica Este	55	79.90	29.80	49.40	55.30	825
5096_04	Jessica Este	60	56.10	40.30	46.90	50.40	860
5088_03	Jessica Este	45	81.10	62.60	58.40	79.60	1080
5088_04	Jessica Este	40	107.00	33.40	104.00	75.80	1080
5088_05	Jessica Este	40	109.00	38.80	58.00	85.60	1020
5088_07	Jessica Este	100	28.70	25.60	23.40	27.50	875
5080_06	Jessica Este	28	74.70	60.60	64.90	72.10	900
5064_05	Jessica Este	35	86.40	62.30	66.00	71.10	800
5072_04	Jessica Este	90	23.90	19.90	17.70	16.60	850
5064_06	Jessica Este	35	42.30	34.20	39.60	40.00	875
5056_04	Jessica Este	40	54.70	24.90	53.50	32.20	800

Fuente: Área perforación voladura Aruntani.

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1. Costos comparativos de los explosivos

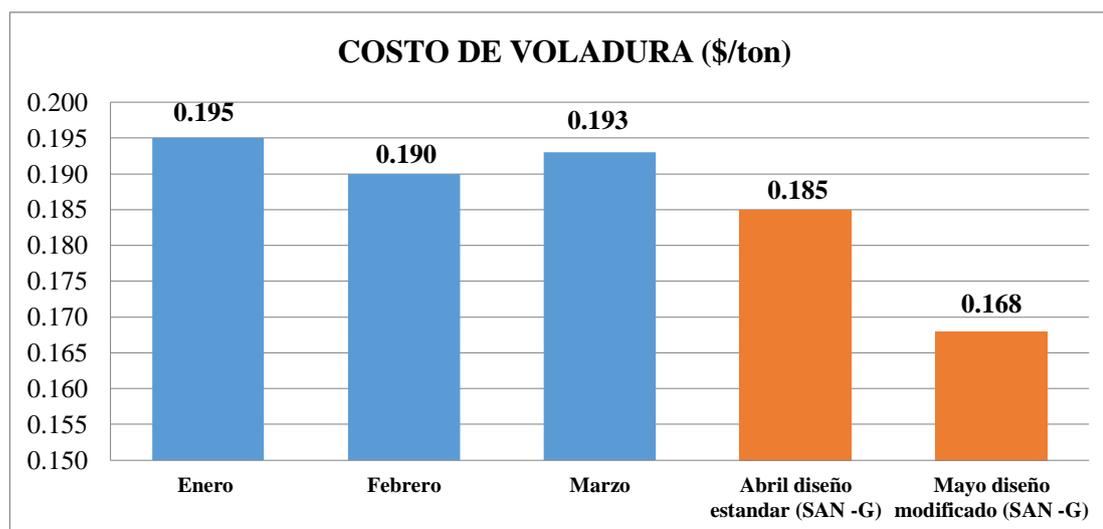
En la Tabla 13 y figura 11, se detallan el comparativo de los costos de voladura obtenido con los dos diseños de carga usados con la SANG con respecto al Heavy Anfo obteniendo ahorros de 7 % con el diseño de carga estándar y 12.9 % con el diseño de carga modificado.

Tabla 13: Cuadro comparativo de Costo de Voladura HA 46 vs SAN G

Diseño de carga estándar		Nuevo diseño de carga
HEAVY ANFO	SAN-G	SAN-G
(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)
0.193	0.185	0.168
Diferencia	0.009	0.021
% ahorro	7%	12.9%

Fuente: Perforación Voladura Aruntani

Figura 11: Histograma de Costo de Voladura HA46 vs SANG



Fuente: Perforación Voladura Aruntani.

5.2. Evaluación de la granulometría mediante análisis de fragmentación

Para realizar el análisis de fragmentación, se tomaron las fotografías del material volado en los proyectos cargados y disparados, se utilizó el software WipFrag, el cual está diseñado para hacer análisis granulométrico; con la toma de fotografías del frente volado, este programa empieza generando la imagen de las rocas fracturadas y la convierte en una net de fragmentos y gráficos, luego es medida, matizada y ploteada a una selección estadística.

La granulometría promedio obtenida con el uso de *heavy* anfo, en el tajo Jessica obteniendo el P80 en 4.080 pulgadas y en el tajo Jessica Este el P80 está en 5.290 pulgadas, estando por debajo del requerimiento de 6 pulgadas por parte de Planta - pad.

Tabla 14: Granulometría promedio obtenida con el uso de Heavy Anfo

<i>Heavy Anfo</i>	D10 (pulg)	D25 (pulg)	D50 (pulg)	D75 (pulg)	P80 (pulg)	D90 (pulg)
Tajo Jessica este	0.580	1.275	2.540	4.634	5.290	7.228
Tajo Jessica	0.939	1.485	2.404	3.718	4.080	5.170
Promedio	0.760	1.380	2.472	4.176	4.685	6.199

Fuente: Área perforación voladura Aruntani

Con el uso de la emulsión gasificable San –G se analizaron 11 proyectos de voladura en el tajo Jessica Este y 06 proyectos de voladura en el Tajo Jessica, cuatro fotografías por proyecto disparado, las cuales se promediaron generando un solo histograma y curva acumulativa promedio.

Tabla 15: *Análisis granulométrico con el Software Wipfrag en Tajo Jessica*

SAN-G	D10 (pulg)	D25 (pulg)	D50 (pulg)	D75 (pulg)	P80 (pulg)	D90 (pulg)
Bco_4768 Py_06	1.029	1.522	2.319	3.682	4.100	5.639
Bco_4776 Py_11	0.864	1.404	2.405	3.851	4.210	5.727
Bco_4784 Py_12	0.743	1.165	1.857	2.975	3.480	4.333
Bco_4792 Py_15	0.600	0.917	1.510	2.179	2.860	3.866
Bco_4778 Py_10	0.408	0.731	1.222	1.908	2.150	2.991
Bco_4776 Py_12	0.379	0.674	1.083	1.755	1.960	2.683
Promedio	0.671	1.069	1.733	2.725	3.127	4.207

Tabla 16: *Análisis granulométrico con el Software Wipfrag Tajo Jessica Este*

SAN-G	D10 (pulgada)	D25 (pulgada)	D50 (pulgada)	D75 (pulgada)	P80 (pulgada)	D90 (pulgada)
Bco_5088 Py_04	0.813	1.309	2.202	3.590	4.070	4.988
Bco_5088 Py_05	0.684	1.233	2.177	3.565	4.000	5.606
Bco_5088 Py_07	0.646	0.545	1.819	2.907	3.250	4.316
Bco_5096 Py_02	0.618	1.000	1.827	3.113	3.473	4.769
Bco_5088 Py_03	0.589	0.905	1.420	2.210	2.410	3.016
Bco_5096 Py_03	0.936	1.514	2.420	3.959	4.380	5.447
Bco_4792 Py_15	0.671	1.065	1.704	2.736	3.000	3.792
Bco_5072 Py_03	0.509	0.762	1.274	2.185	2.480	3.621
Bco_5080 Py_06	0.864	1.404	2.405	3.851	4.210	5.727
Bco_5064 Py_04	0.599	0.993	1.691	2.700	2.480	3.974
Bco_5072 Py_04	0.630	1.048	1.863	3.245	3.670	4.999
Promedio	0.687	1.071	1.891	3.096	3.402	4.569

Fuente: Área perforación voladura Aruntani

5.3. Evaluación del factor de potencia de la emulsión gasificable San -G

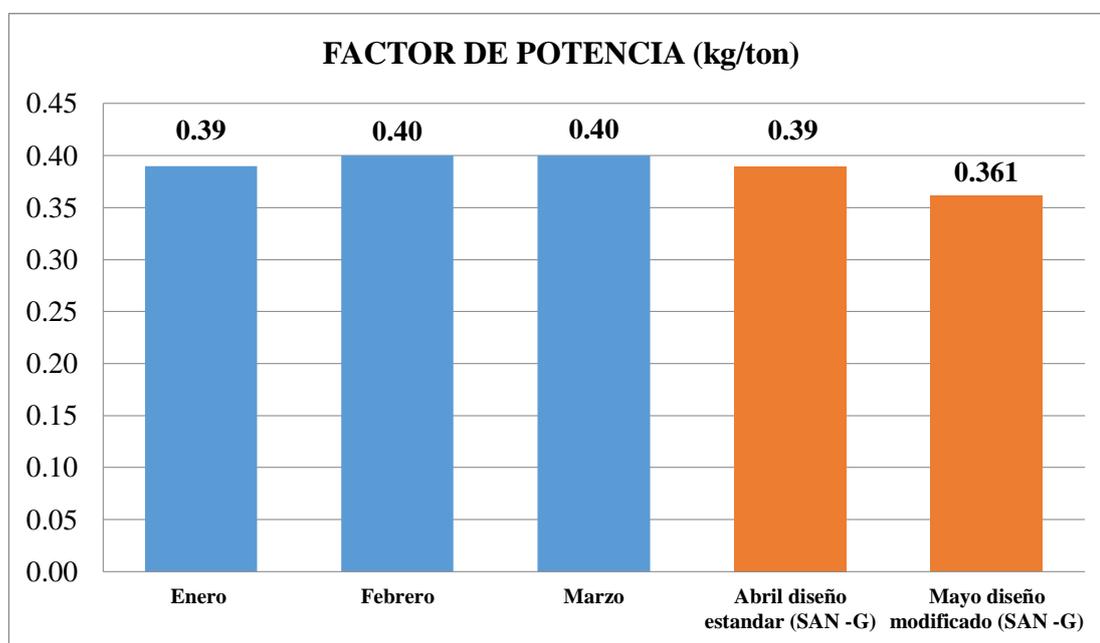
Durante el uso de la emulsión gasificable SAN - G se trabajó inicialmente con el diseño de carga estándar de la unidad minera y luego con el diseño de carga modificado, a continuación se detalla el comparativo de los indicadores de Factor de Potencia obteniendo un ahorro en el consumo de explosivo de 9.8 % con el nuevo diseño de carga.

Tabla 17: Cuadro comparativo de factor de potencia HA 46 vs SAN G

Diseño de carga estándar		Nuevo diseño de carga
HEAVY ANFO	SAN-G	SAN-G
(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)
0.40	0.39	0.361
Diferencia	0.01	0.039
% ahorro	3%	9.8%

Fuente: Perforación Voladura Aruntani.

Figura 12: Histograma de Factor de Potencia HA46 vs SANG



Fuente: Perforación Voladura Aruntani

5.4. Evaluación de la Velocidad de Detonación (VOD) de la emulsión gasificable

Para realizar el monitoreo de las velocidades de detonación, se utilizó un equipo Microtrap, de marca MREL, este equipo es conectado al taladro por medio de un cable de prueba (Probecable) de 10.80 ohm, el cual va unido a “la prima” (cebo), luego por medio de un cable coaxial RG 58, se aleja el equipo de la zona de disparo.

Para tener una línea de comparación con otros explosivos empleados en los disparos es que se realiza un cuadro comparativo de las velocidades obtenidas del SAN-G frente al Heavy Anfo 37 y Heavy Anfo 46.

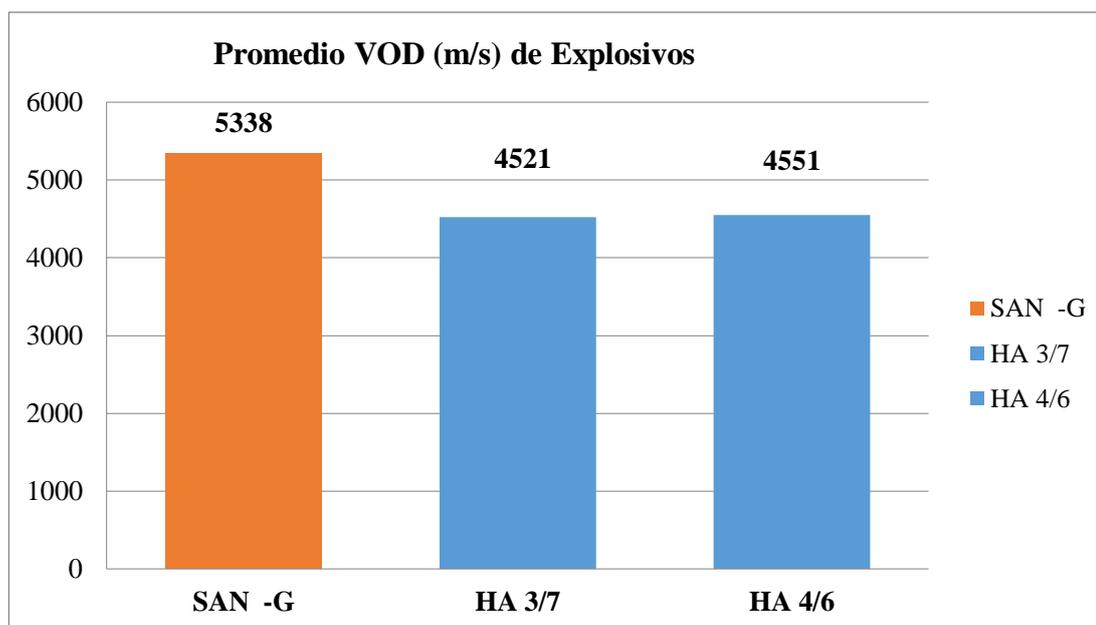
Los registros obtenidos son un indicador de la Alta Velocidad de Detonación que genera al momento de la detonación del explosivo SAN-G en la columna cargada, estos registros están por encima de 5200 m/s con una densidad promedio de 1.05 gr/cc.

Tabla 18: Cuadro comparativo de VODs

	Proyectos	VOD(m/s)	Densidad(g/cc)
SAN -G	4776_11	5106.73	1.00
	5096_02	5225.40	0.97
	4768_06	5274.40	1.01
	5088_05	5218.90	1.05
	4784_12	5522.60	1.10
	5088_07	5556.60	1.09
	5072_03	5463.90	1.08
		5338.36	1.04
HEAVY ANFO 3/7	4776_04	4464.80	0.99
	4776_05	4444.70	1.01
	4800_21	4654.20	0.98
		4521.23	0.99
HEAVY ANFO 4/6	5072_02	4550.90	1.19

Fuente: Perforación Voladura Aruntani

Figura 13: Histograma comparativo de VODs (San G Vs HA37 vs HA46)



Fuente: Perforación Voladura Aruntani

Durante las Pruebas se logró hacer siete mediciones de Velocidad de detonación donde los taladros son secos sin presencia de agua (Ver anexo 2) y a la cual detallamos a continuación:

- La primera medición se hizo en el proyecto de voladura 4776_11, donde se registra una VOD de 5106.73 m/s. en un taladro de 6 ¾ pulgada de diámetro cargado SAN-G y con una densidad de 1.0 gr/cc.
- La segunda medición se realizó en el proyecto de voladura 5096_02, donde se registra una VOD de 5225.4 m/s. en un taladro de 6 ¾ pulgada de diámetro cargado SAN-G y con una densidad de 0.97 gr/cc.
- La tercera medición se procedió a realiza en el proyecto de voladura 4768_06, donde se registra una VOD de 5274.4 m/s. en un taladro de 6 ¾ pulgada de diámetro cargado SAN-G y con una densidad de 1.01 gr/cc.

- La cuarta medición se procedió a realiza en el proyecto de voladura 5088_05, donde se registra una VOD de 5218.9 m/s. en un taladro de 6 $\frac{3}{4}$ pulgada de diámetro cargado SAN-G y con una densidad de 1.05 gr/cc.
- La quinta medición se procedió a realiza en el proyecto de voladura 4784_12, donde se registra una VOD de 5522.6 m/s. en un taladro de 6 $\frac{3}{4}$ pulgada de diámetro cargado SAN-G y con una densidad de 1.10 gr/cc.
- La sexta medición se procedió a realiza en el proyecto de voladura 5088_07, donde se registra una VOD de 5556.6 m/s. en un taladro de 6 $\frac{3}{4}$ pulgada de diámetro cargado SAN-G y con una densidad de 1.09 gr/cc
- La séptima medición se procedió a realiza en el proyecto de voladura 5072_03, donde se registra una VOD de 5463.9 m/s. en un taladro de 6 $\frac{3}{4}$ pulgada de diámetro cargado SAN-G y con una densidad de 1.08gr/cc.

5.5. Discusión

5.5.1. Parámetros de perforación voladura.

La emulsión gasificable fue usada en los siguientes parámetros los cuales son los que es estándar para el *heavy* anfo 4/6.

Tabla 19: *Parámetros de perforación voladura*

Parámetros de diseño		
Diámetro de taladro	Pulg.	6.75
Tipo de malla		Triangular
Burden	m	4.30
Espaciamiento	m	5.00
Altura de banco	m	8.00
Sobre perforación	m	1.00

Longitud del taladro	m	9.00
Volumen	m ³	172
Roca		Andesita
Densidad	ton/m ³	2.30
Tonelaje	ton	395.60
Columna de carga	m	6.50
Taco final	m	2.50

Fuente: Área perforación voladura Aruntani

5.5.2. Costo de voladura con emulsión gasificable

El costo de voladura de la emulsión gasificable usando los parámetros anteriores son los siguientes:

Tabla 20: *Calculo de costo de voladura*

Diseño de carga		
Tonelaje	ton/tal	395.60
Tipo de explosivo		SAN-G
Explosivo por taladro	kg/ tal	156
Factor de potencia	kg/ ton	0.39
Costo de SAN- G	\$/kg	0.426
Booster	\$/und	2.48
Fanel dual	\$/und	3.10
SAN-G	\$/tal	66.46
Costo de taladro	\$/tal	72.04
Costo por tonelada	\$/ ton	0.185

Fuente: Área perforación voladura Aruntani

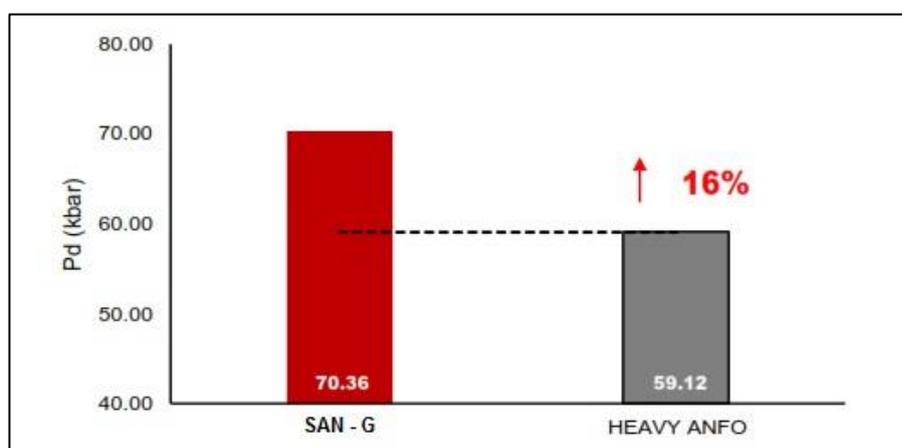
Con un taco inicial de 3.30 metros, densidad final de 1.1 gr/cc llegando al taco final de 2.50 metros con un factor de potencia de 0.39 kg/tal, con esponjamiento de 0.80 metros.

5.5.3. Comparativo de PoD Heavy Anfo vs SAN- G

En relación con la Presión de Detonación del explosivo en el taladro, la mezcla explosiva SAN-G desarrolla un 16% superior de PoD en comparación a Heavy Anfo.

Durante el desarrollo de la pruebas técnicas se incrementó la longitud de taco de 2.50 m a 3.0 m en mineral y en algunos proyectos en desmonte de 3.00 m a 3.50 m con el objetivo de retener la energía del explosivo y reducir la pérdida de energía por el collar del taladro, obteniendo buenos resultados en cuanto a la fragmentación de rocas y reducción del costo con este nuevo diseño.

Figura 14: Comparación de Presión de detonación



Fuente: Famesa explosivos

Calculo del costo de voladura con el incremento del taco.

Tabla 21: Cálculo de costo con el nuevo diseño

Diseño de carga		
Tonelaje	ton/tal	395.60
Tipo de explosivo		SAN-G
Explosivo por taladro	kg/ tal	143
Factor de potencia	kg/ ton	0.361
Costo de SAN- G	\$/kg	0.426
Booster	\$/und	2.48
Fanel dual	\$/und	3.10

SAN-G	\$/tal	60.92
Costo de taladro	\$/tal	66.50
Costo por tonelada	\$/ ton	0.168

Fuente: Área perforación voladura Aruntani

Con un taco inicial de 3.60 metros, densidad final de 1.1 gr/cc llegando al taco final de 3.00 metros con un factor de potencia de 0.361 kg/tal, con esponjamiento de 0.60 metros.

Tabla 22: Resumen de disparos con el modelo estándar

Tajo	Proyecto	Taladros de producción	Taladros Buffer	Consumo SAN - G (kg)	Tonelaje Geológico	Factor de potencia (kg/ton)	Costo Voladura (\$/ton)
Jessica	4776_11	76		13,123	30,657	0.428	0.20
Jessica Este	5096_02	237		42,263	97,832	0.432	0.20
Jessica Este	5096_03	154		27,559	68,103	0.405	0.19
Jessica Este	5096_04	62		10,035	23,501	0.427	0.20
Jessica	4768_06	103		18,270	46,776	0.391	0.18
Jessica	4792_15	178	28	33,580	78,727	0.427	0.20
Jessica Este	5088_03	105	22	20,597	51,271	0.402	0.19
Jessica Este	5088_04	135		24,394	56,910	0.429	0.20
Jessica Este	5088_05	64	30	12,536	29,135	0.430	0.20
Jessica Este	5096_05	5		805	1,930	0.417	0.19
Jessica	4784_12	168	24	28,150	85,140	0.331	0.15
Jessica	4960_22	101		15,747	46,143	0.341	0.16
Jessica Este	5088_07	58	19	11,103	30,788	0.361	0.17
Jessica Este	5080_04	151	20	26,525	63,507	0.418	0.19
Jessica	4776_12	82		13,993	34,871	0.401	0.18
Jessica Este	5080_06	62		11,276	27,612	0.408	0.19
Jessica	4776_13	57		10,086	29,076	0.347	0.16
Jessica	4776_14	33.000		5,661	13,357	0.424	0.19
		Sub total		325,703	815,335	0.39	0.186

Fuente: Área perforación voladura Aruntani

Tabla 23: Resumen de disparos con el nuevo diseño.

Tajo	Proyecto	Taladros de producción	Taladros Buffer	Consumo SAN - G (kg)	Tonelaje Geológico	Factor de potencia (kg/ton)	Costo Voladura (\$/ton)
Jessica Este	5072_03	144		25,384	65,173	0.389	0.18
Jessica	4768_08	84		11,646	34,376	0.339	0.16
Jessica Este	5072_04	133	31	23,634	60,043	0.394	0.18
Jessica	4768_10	66		11,101	32,672	0.340	0.16
Jessica Este	5064_04	117		19,075	52,072	0.366	0.17
Jessica Este	5064_05	105	8	16,734	44,726	0.374	0.18
Jessica Este	5064_06	76	39	14,417	38,130	0.378	0.18
Jessica Este	5056_03	75		12,066	32,715	0.369	0.17
Jessica Este	4944_40	138		21,930	67,387	0.325	0.15
Jessica Este	5056_04	25		4,173	12,374	0.337	0.15
		Sub total		160,160	439,668	0.361	0.168

Fuente: Área perforación voladura Aruntani

5.5.4. Diseño de secuencia de salida con el software jk simblast.

Se realizó el diseño con secuencia de salida en “V” como se observa en la figura N° 17 de acuerdo a la delimitación de mineral y desmonte.

- Tiempo entre taladros 17ms
- Tiempo entre filas 42 ms
- Tiempo para la última fila amortiguada de 109 ms

Como se ve en la figura 16 se ve las distintas alteraciones en un solo proyecto y la alteración de mayor porcentaje es la de sílice granular.

Figura 15: Malla con polígonos de mineral y desmonte

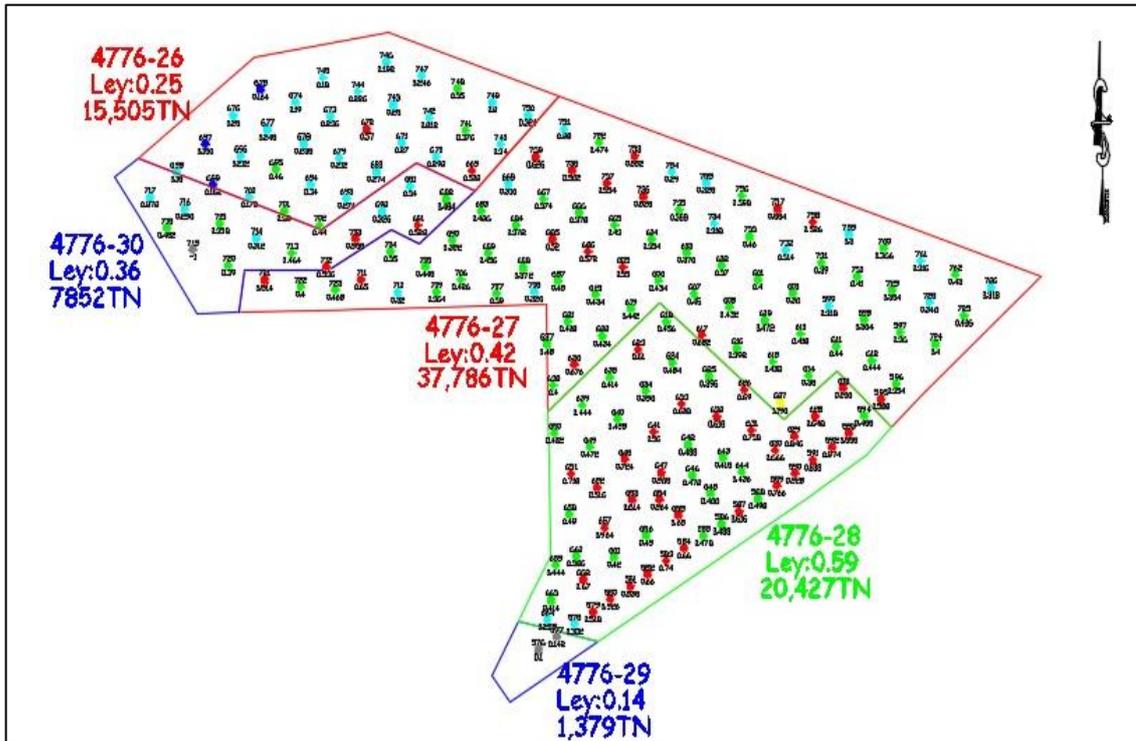
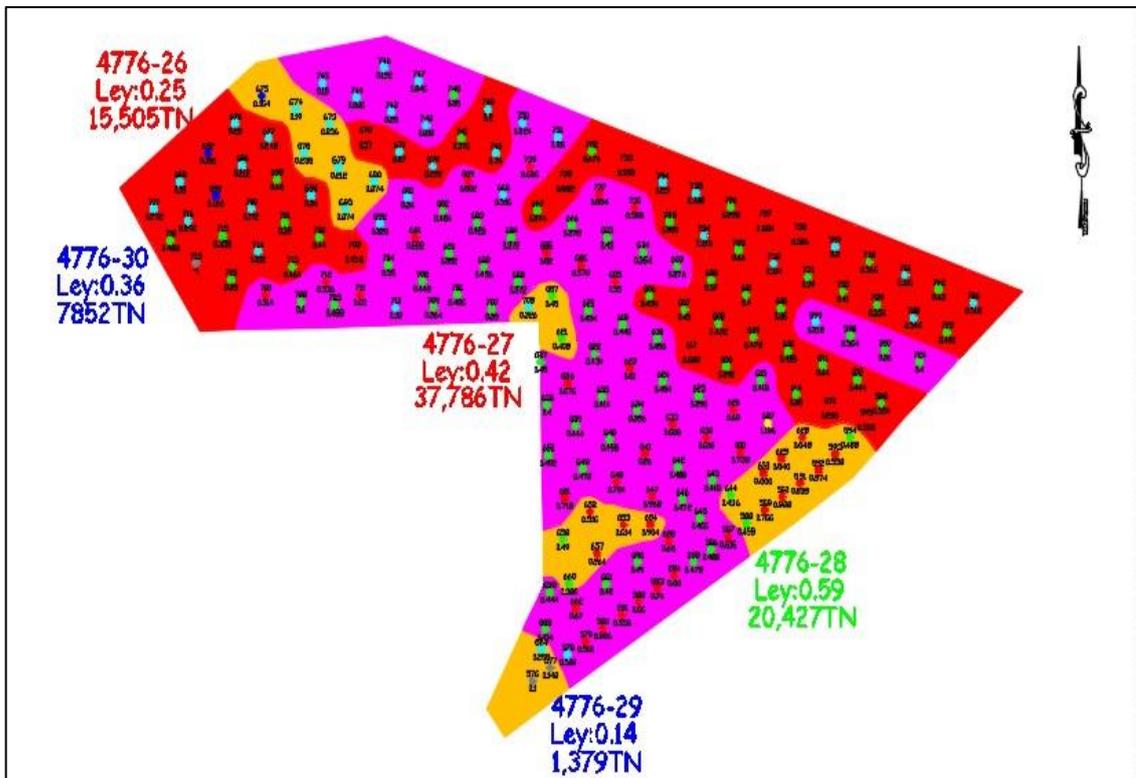
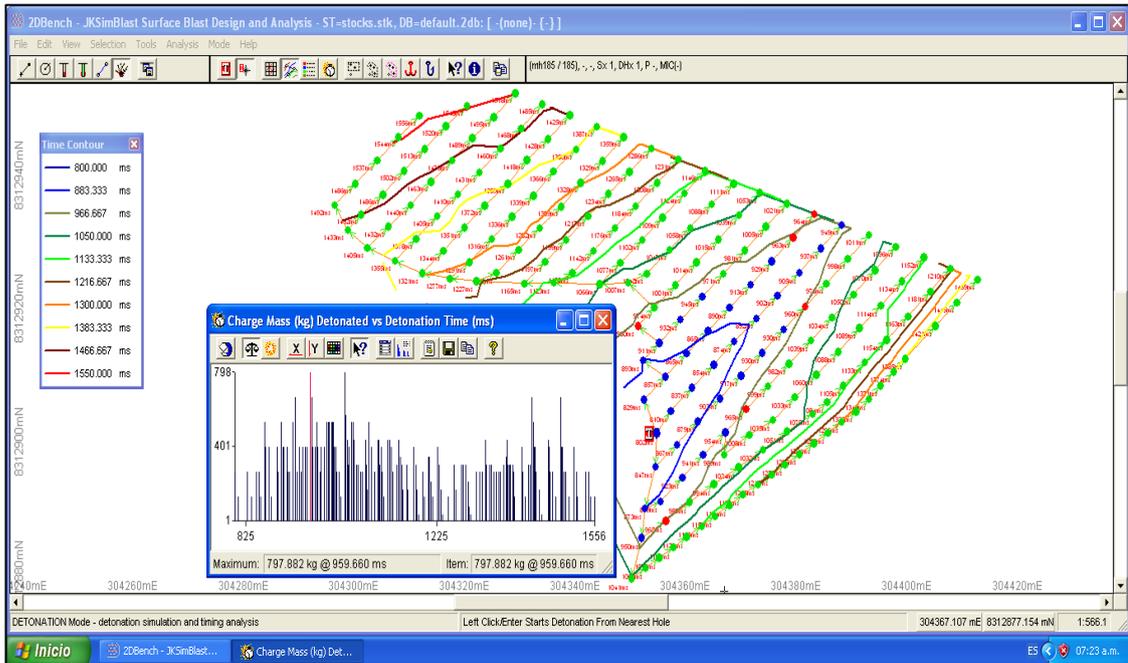


Figura 16: Malla con mapeo geológico



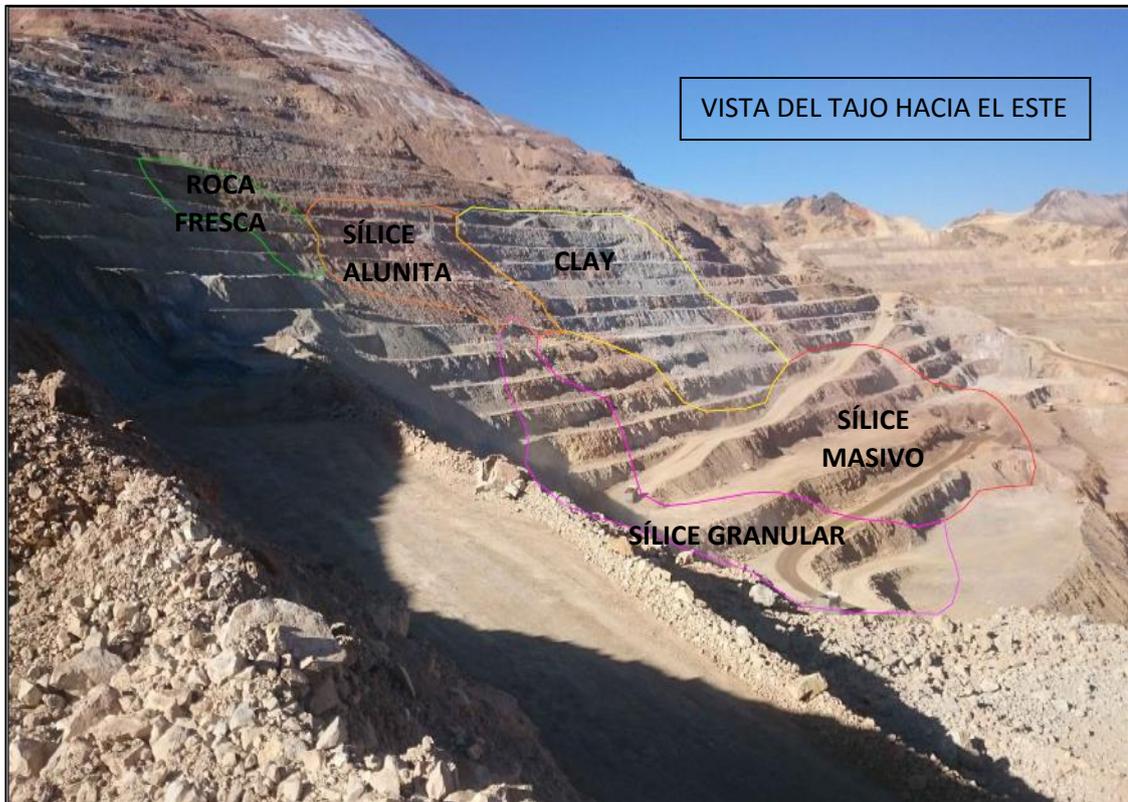
Fuente: Área geología Mina

Figura 17 : Diseño y Simulación con JK



Fuente: Perforación voladura Aruntani

Figura 18: Alteraciones en el tajo Jessica



Fuente: Área geología Mina

CONCLUSIONES

- El costo de voladura con los *Heavy Anfos* de los meses de enero a marzo esta en **0.193** \$/ton y los costos de voladura con la SAN - G están en **0.185** \$/ton con el diseño de carga estándar y **0.168** \$/ton con el diseño de carga modificado este último representa un ahorro de **12.9 %**.
- Se realizó el análisis de fragmentación con el software Wipfrag en el tajo Jesica obteniendo el **P80** en **3.127** pulgadas y en el tajo Jesica Este el **P80** está en **3.402** pulgadas, estando por debajo del requerimiento de **6 pulgadas** por parte de planta - pad.
- El factor de potencia promedio obtenido en los proyectos cargados con SAN - G con el diseño de carga estándar es **0.39** kg/ton con una densidad promedio de 1.1 gr/cc y con el nuevo diseño de carga es **0.361** kg/ton con densidad promedio de 1.10 g/cc, Este último factor está por debajo de los *Heavy Anfo* con que trabaja anteriormente que es **0.40 kg/ton**. que representa una disminución del orden de **9.8 %**.
- Se realizó el monitoreo de Velocidad de Detonación a los proyectos disparados con SAN-G, obteniendo 7 registros los cuales nos dan un promedio de VOD por encima de **5200 m/s** con una densidad promedio de 1.05 g/c. Este promedio de VOD obtenido se comparó con otros productos que se emplearon en proyectos con las mismas características, estando por debajo del SAN-G.

RECOMENDACIONES

- Realizar filmación de las voladuras, para la evaluación post disparo (desplazamiento, eyección de roca y escala visual de gases).
- Contar con la data de *ore* control antes del disparo, ayudara a diseñar la distribución de carga por tipo de material y seleccionar los tiempos de retardo adecuados para controlar la dilución (Mineral / Desmonte).
- Si bien se obtuvieron valores de p80 y pasante de la granulometría en los frentes de minado que permiten tener un indicador cuantitativo de estos resultados con los diseños de perforación y voladura, se requiere continuar con estos trabajos para tener un mayor margen de confiabilidad y certeza en los resultados que se obtengan.
- Se recomienda que el área de topografía debe replantear en campo el límite de rotura del proyecto de voladura adyacente con la finalidad de tener una mejor distribución de la malla de perforación y evitar la presencia de toes y pisos irregulares.
- En el proceso de tapado de taladros, se sugiere que siempre se realice de 02 personas, con el objetivo de cuidar la línea descendente (Manguera o Tubo FANEL) y no sufra cortes por contacto con material anguloso y/o por impacto con el atacador.

BIBLIOGRAFÍA

Cía. Minera ARUNTANI, Mina Jessica 2018, Edgar Sota, Informe de Costos Anuales Mina – Oficina tecnica.

Cía. Minera ARUNTANI, Mina Jessica 2018, Gustavo Duran – Miguel A. Chupillon, Informe Geología mina – Ore Control.

Cía. Minera ARUNTANI, Mina Jessica 2018, York Gutierrez, Informe Anual de Planeamiento Mina.

Cía. Minera ARUNTANI, Mina Jessica, (2018), Informes mensuales de operación mina – perforación voladura.

EXSA S.A (2001). *“Manual Práctico de Voladura” Perú. Lima.*

Famesa Explosivos (2016). *Catálogo de productos. Perú. Lima.*

Famesa Explosivos SAC. (2017). San-G Solución acuosa de nitrato gasificable para minería superficial. Obtenido de <http://www.famesa.com.pe/productos/agentes-de-voladura/san-g/>

Konya. 1988. *Diseño de Voladura de Rocas. Madrid: CUICATL.*

López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermudez, P. (2015). Manual de perforación y voladura de rocas. España.

Urruchi Huamán, P., & Villanueva Lujan, R. (2009). Aplicación y desarrollo de la emulsión gasificada como agente de voladura para reducir los costos. Trujillo:Famesa Explosivos SAC.

ANEXOS

ANEXO 1

Proyecto antes del disparo
Bco 4768 Py. 06



Proyecto post disparo



Proyecto antes del disparo
Bco 4792 Py. 15



Proyecto post disparo



Proyecto antes del disparo
Bco 5088 Py. 04



Proyecto post disparo



Proyecto antes del disparo
Bco 5088 Py. 07



Proyecto post disparo

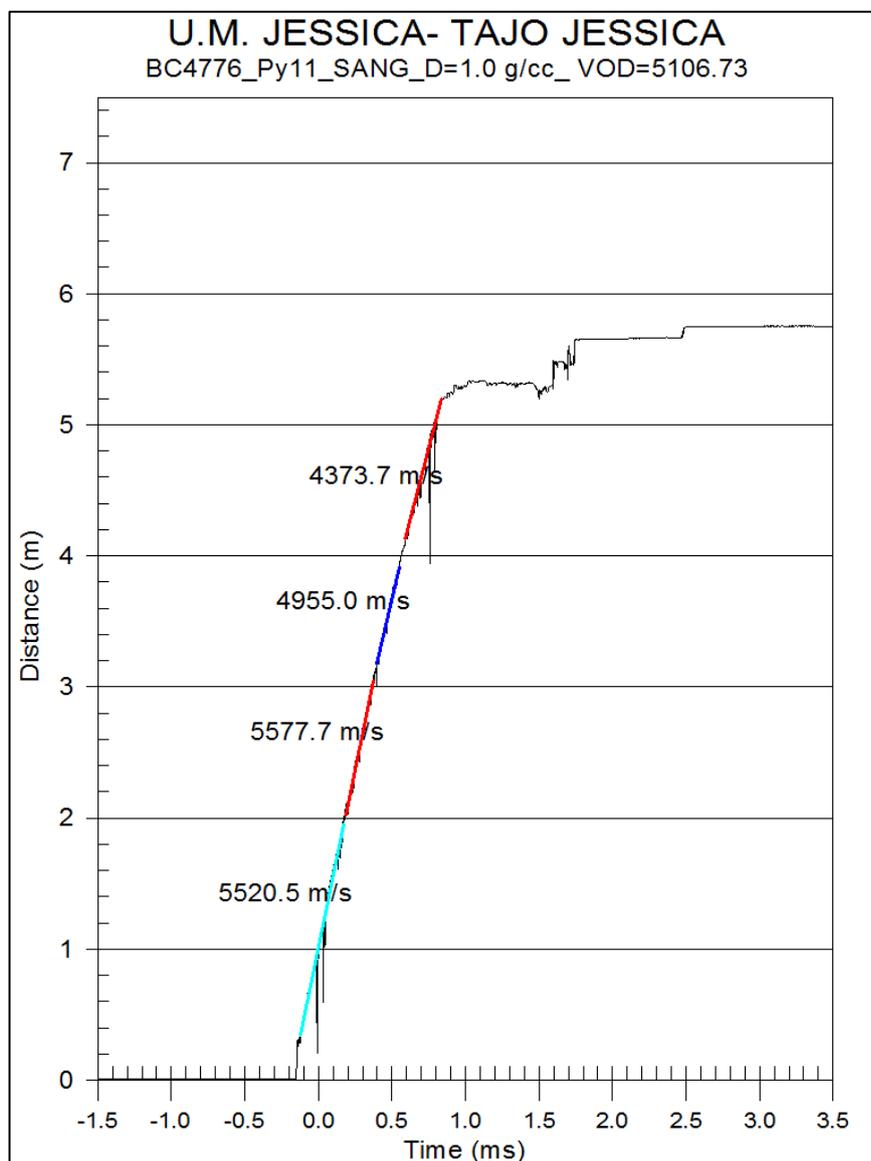


ANEXO 2
Velocidad de detonación

ARUNTANI – TAJO JESSICA

Parámetros

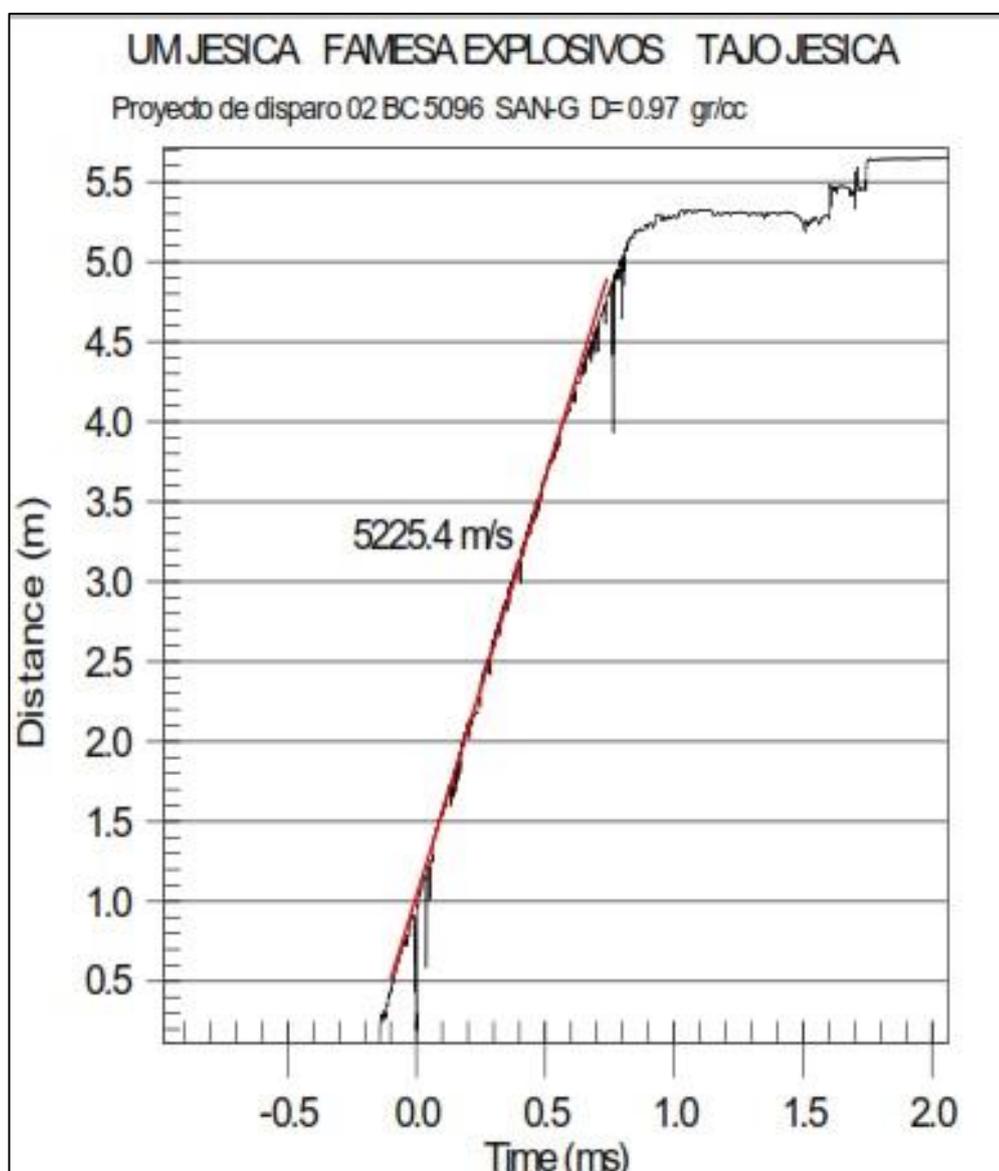
Longitud de taladro	: 9.0 m.
Longitud de taco	: 2.5 m.
Ø Taladro	: 6 3/4pulgadas.
Iniciador	: Booster HDP 1.0 libra
Explosivo	: Total 163.5 kg.
Densidad	: 1.0 g/cc



ARUNTANI – TAJO JESSICA ESTE

Parámetros

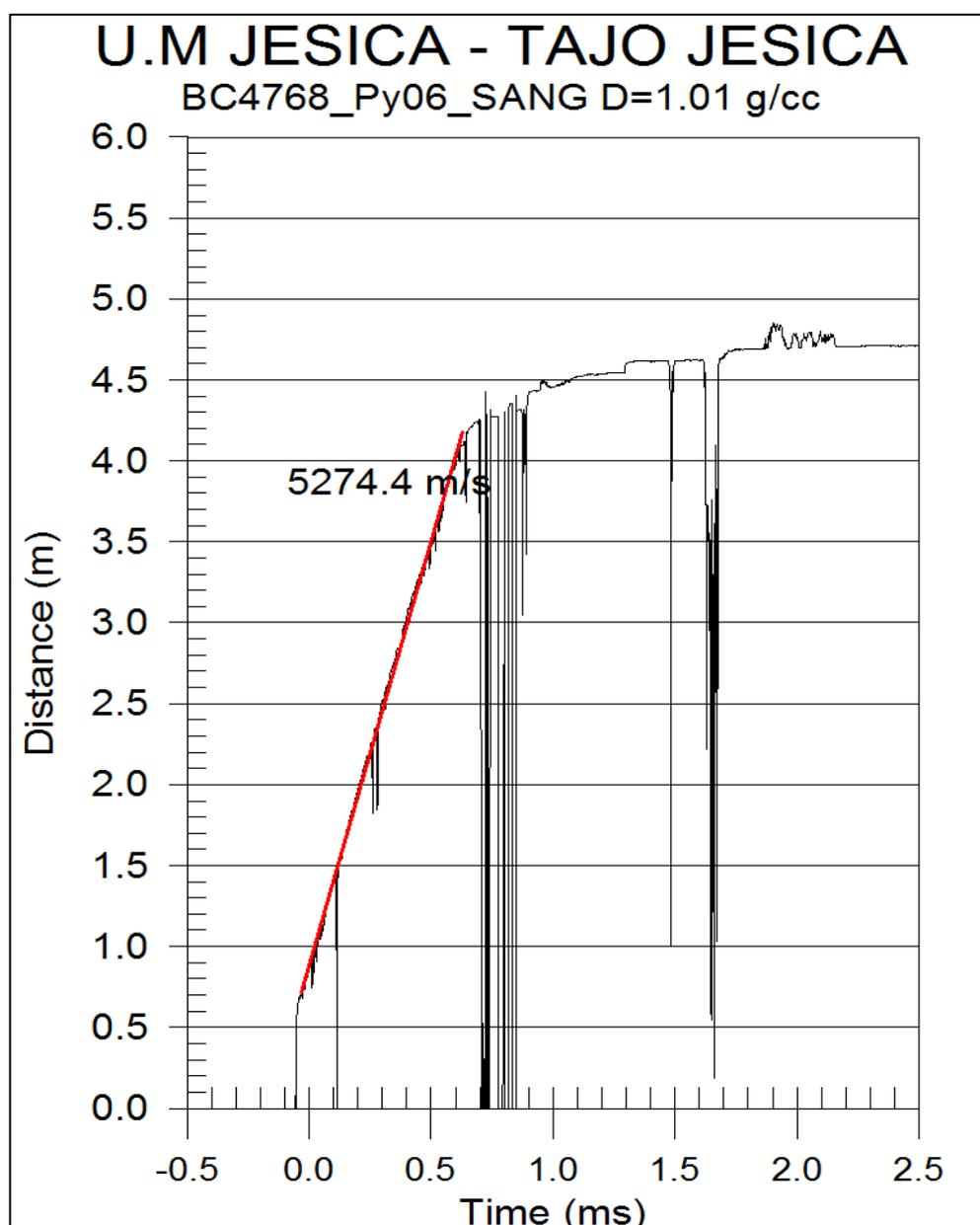
- Longitud de taladro : 8.9 m.
- Longitud de taco : 2.5 m.
- Ø Taladro : 6 3/4pulgadas.
- Iniciador : Booster HDP 1.0 libra
- Explosivo : Total 169 kg.
- Densidad : 0.97 g/cc



ARUNTANI – TAJO JESSICA

Parámetros:

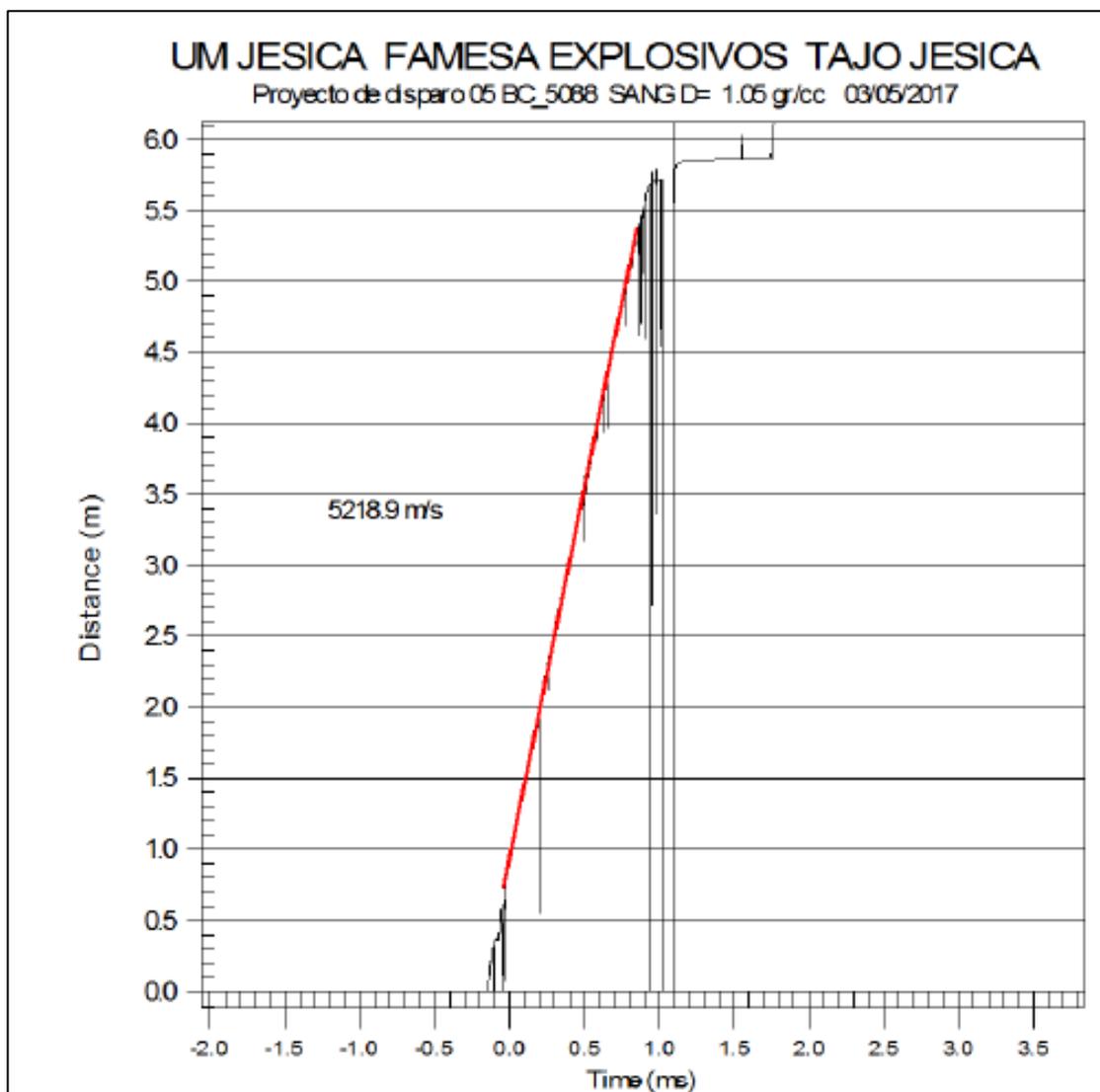
- Longitud de taladro : 8.8 m.
- Longitud de taco : 2.5 m.
- Ø Taladro : 6 3/4pulgadas.
- Iniciador : Booster HDP 1.0 libra
- Explosivo : Total 170 kg.
- Densidad : 1.01 g/cc



ARUNTANI – TAJO JESSICA ESTE

Parámetros

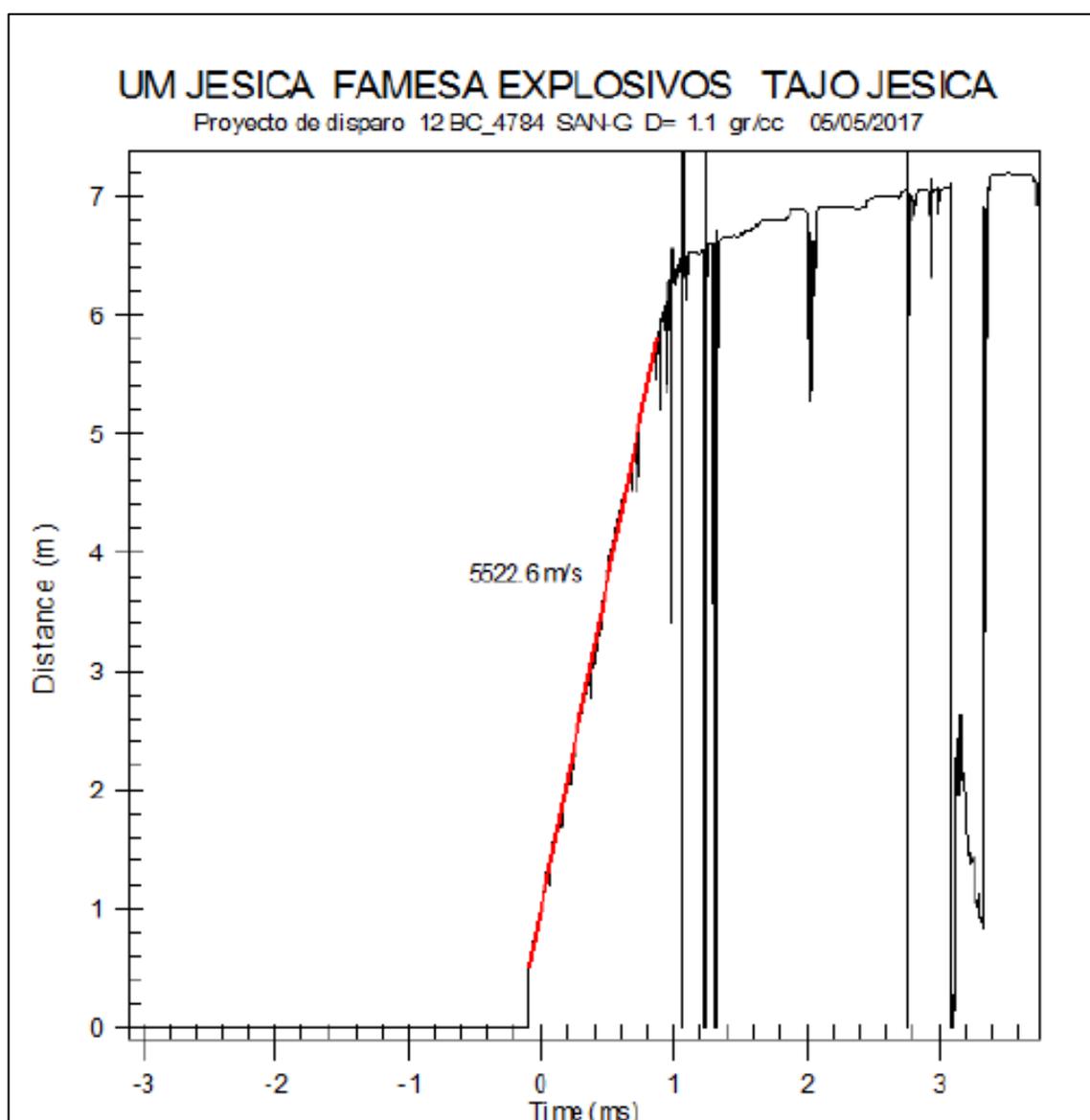
- Longitud de taladro : 8.9 m.
- Longitud de taco : 2.5 m.
- Ø Taladro : 6 3/4pulgadas.
- Iniciador : Booster HDP 1.0 libra
- Explosivo : Total 171 kg.
- Densidad : 1.05 gr/cc



ARUNTANI – TAJO JESSICA

Parámetros

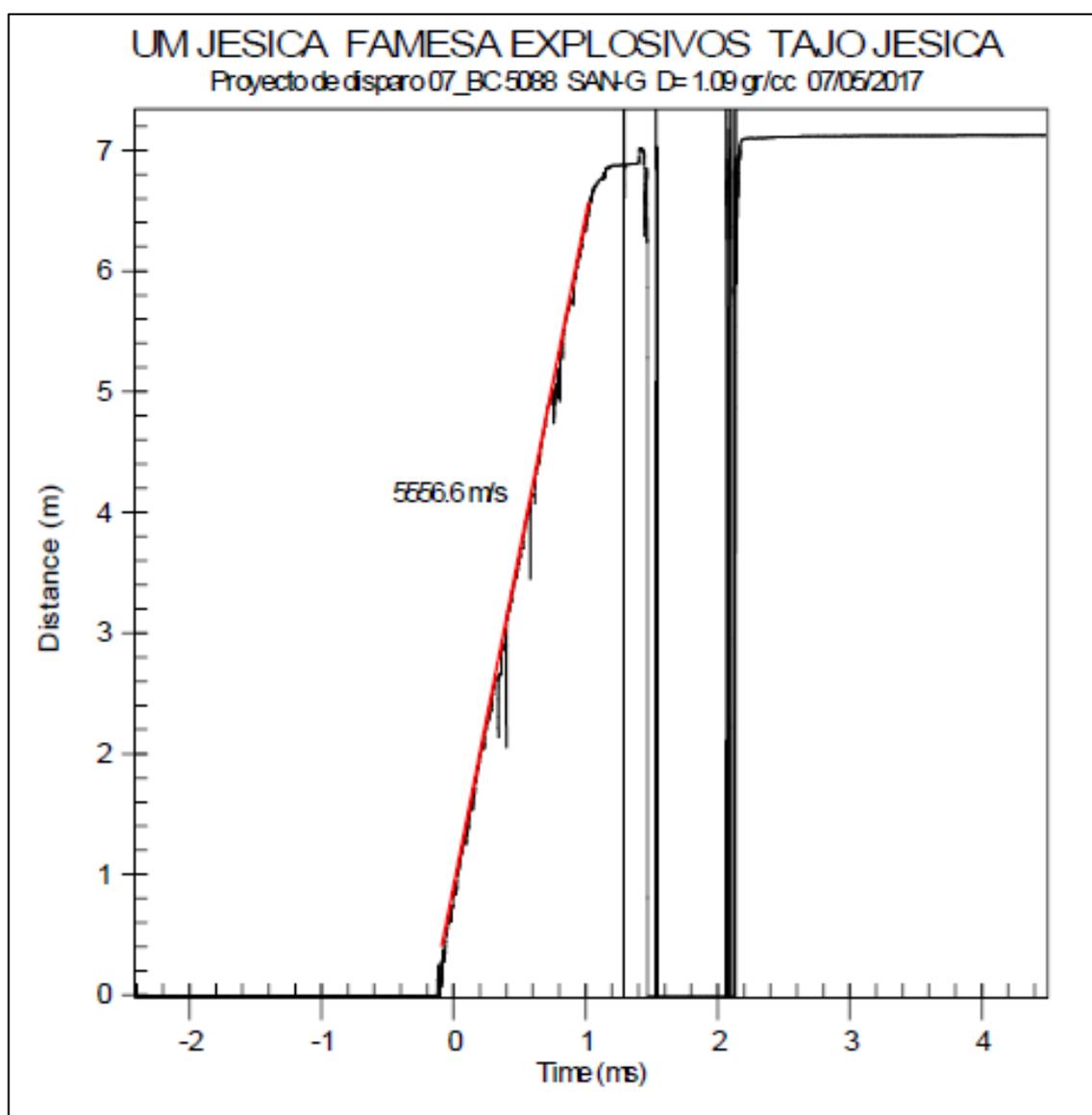
- Longitud de taladro : 9.0 m.
- Longitud de taco : 2.5 m.
- Ø Taladro : 6 ¾ pulgadas.
- Iniciador : Booster HDP 1.0 libra
- Explosivo : Total 175 kg.
- Densidad : 1.08 gr/cc



ARUNTANI – TAJO JESSICA ESTE

Parámetros

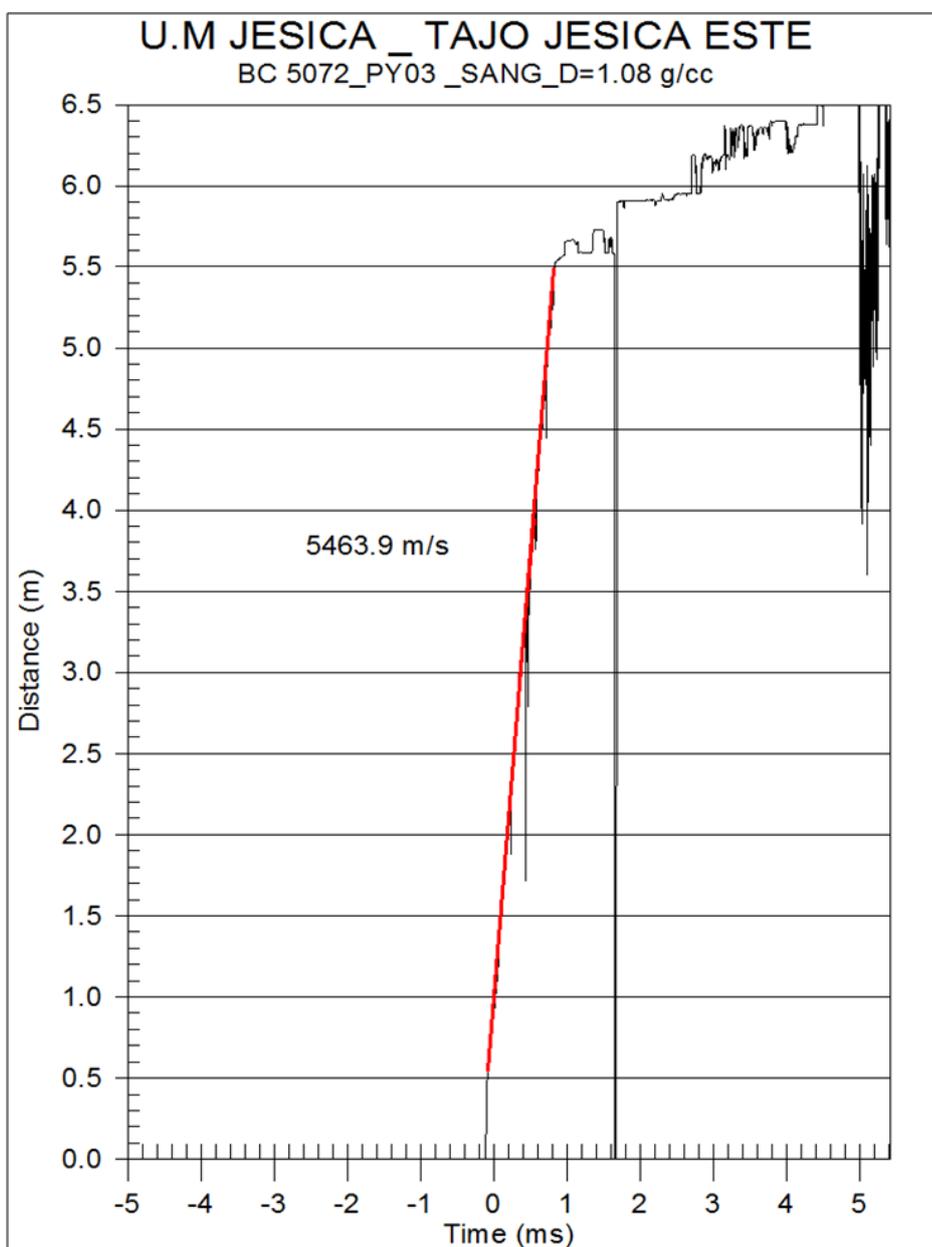
- Longitud de taladro : 8.60 m.
- Longitud de taco : 2.5 m.
- Ø Taladro : 6 3/4pulgadas.
- Iniciador : Booster HDP 1.0 libra
- Explosivo : Total 170 kg.
- Densidad : 1.09 gr/cc



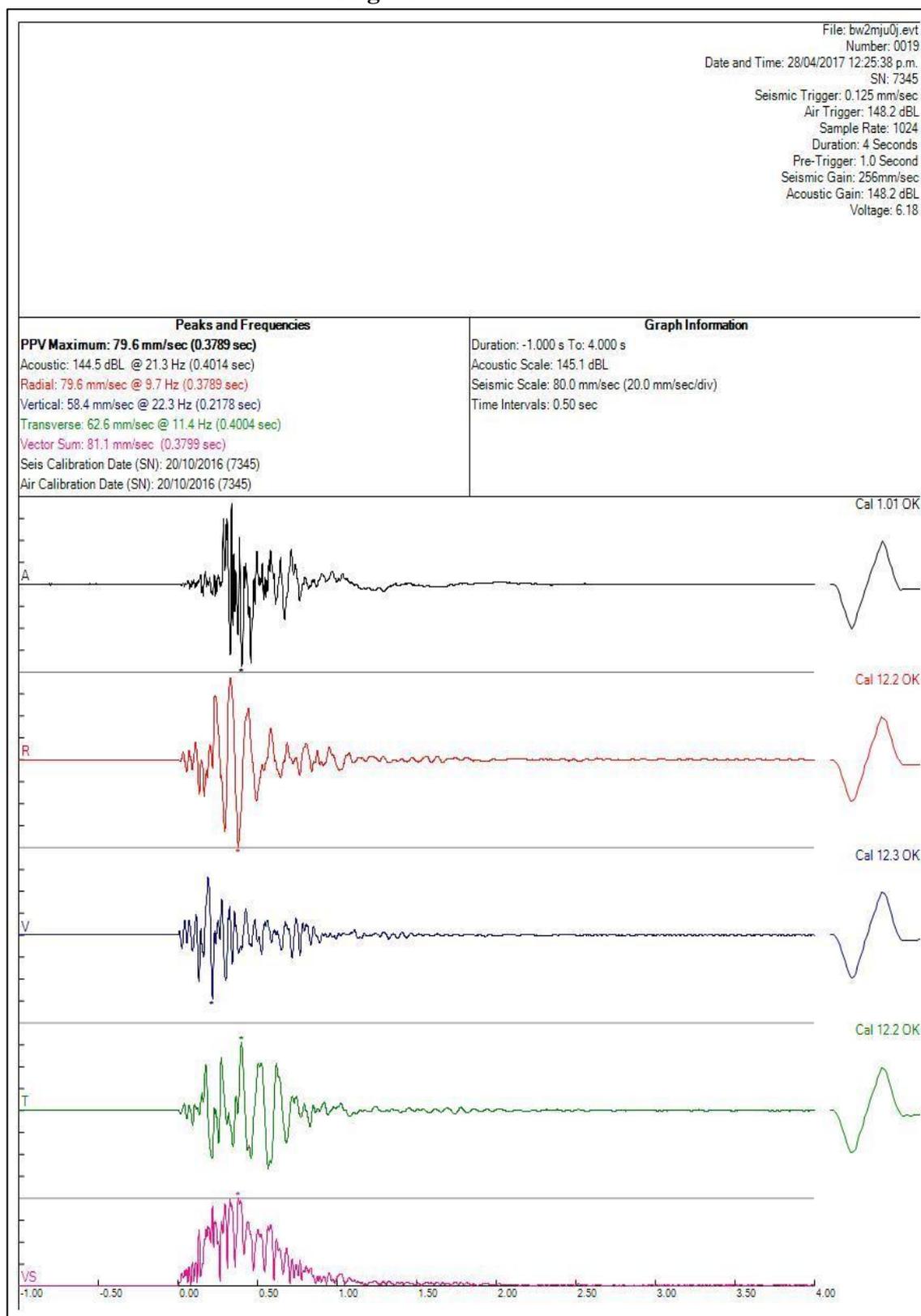
ARUNTANI – TAJO JESSICA ESTE

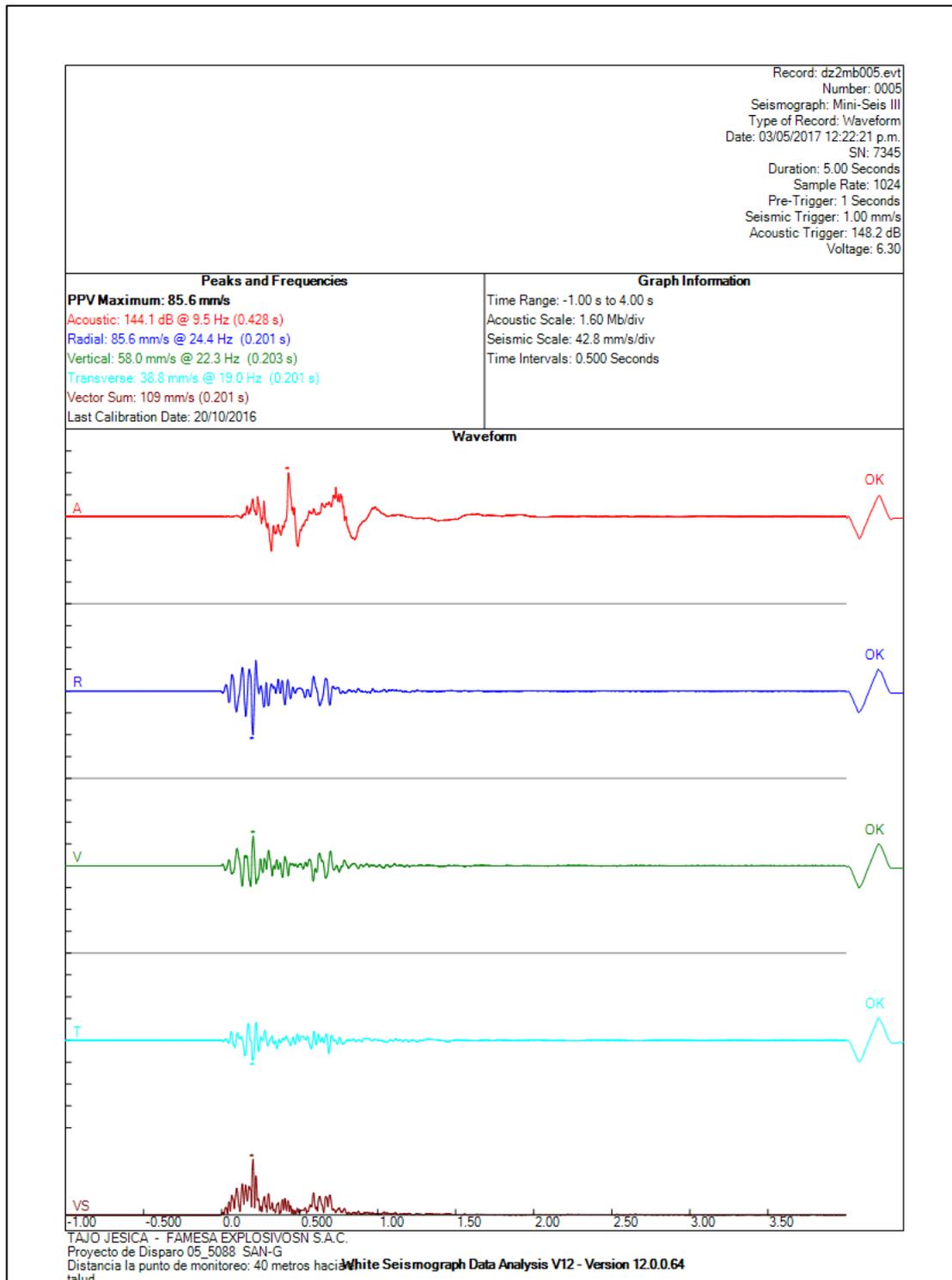
Parámetros

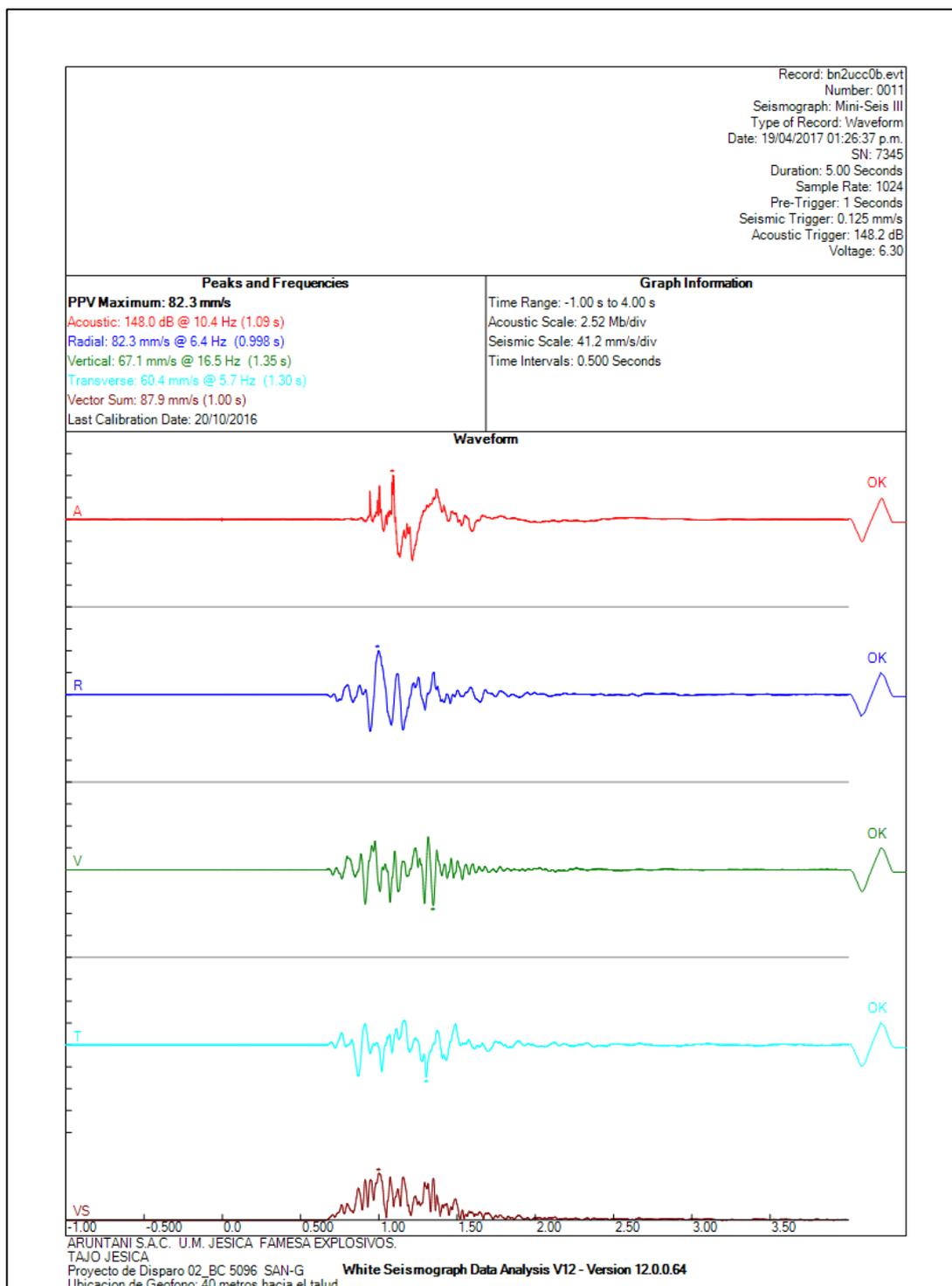
- Longitud de taladro : 8.90 m.
- Longitud de taco : 2.5 m.
- Ø Taladro : 6 3/4pulgadas.
- Iniciador : Booster HDP 1.0 libra
- Explosivo : Total 175kg.
- Densidad : 1.08 gr/cc

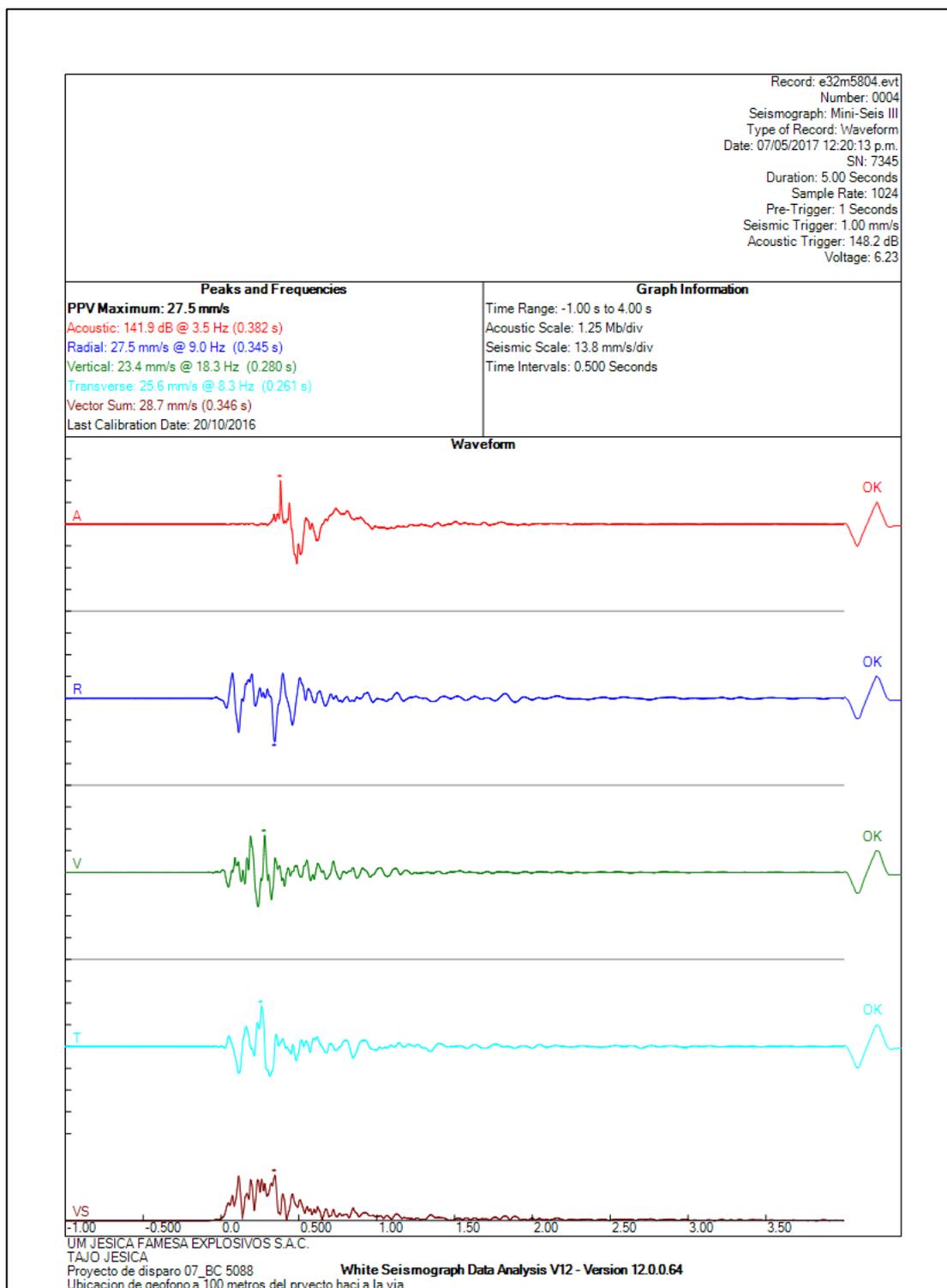


ANEXO 3 Registro de vibraciones









ANEXO 4
Interpretación de alteraciones

