UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENERÍA DE MINAS

"VOLADURA CON INICIACIÓN PIROTÉCNICA, ELECTRÓNICA Y APLICACIÓN DE FRACTURAMIENTO CON PLASMA EJECUTADO POR LA EMPRESA ENAEX S.A. EN ÁREAS 3000 Y 4000 DEL PROYECTO QUELLAVECO"

INFORME FINAL DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. VARGAS ALMIRÓN JUAN JAVIER

Para obtener el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERU

2021

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

UNAM SECRETARIA GENERAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 015

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : ☐

Trabajo de Suficiencia Profesional : ☒

Otro: ..... : ☐

II. Documento de aprobación para la sustentación:
RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 014-2021-FACIA-UNAM

Fecha: 13.08.2021

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL, TITULADO:
"VOLADURA CON INICIACIÓN PIROTÉCNICO ELECTRÓNICA Y APLICACIÓN DE FRACTUREMIENTO CON PLASMA EJECUTADO POR LA EMPRESA ENAEX S.A. EN ÁREAS 3000 Y 4000 DEL PROYECTO QUELLAVECO"

Bachiller: JUAN JAVIER VARGAS ALMIRÓN

Asesor Principal: DR. MARCOS LUIS QUISPE PERÉZ

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial ☐ Virtual ☒

Con nota: CATORCE (14) por lo que; Sí ☒ No ☐

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 9:15 horas, del 17 de AGOSTO del año 2021 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
JORGE LUIS TOMAS FLOREZ SOLOS.
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
Arquímedes L. Vargas Luque
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
Marlon M. Arcaya Goñez
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Juan Javier Vargas Almirón
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

Por el presente trabajo primero debo agradecer a nuestro creador Dios, lo dedico a la memoria de mi padre Juan Vargas a mi madre Isabel Almirón, Loany Pinelo por su constante motivación a no dejar que desista, al apoyo de mis seres queridos, amigos, compañeros y a quienes siempre me apoyaron con su cariño, amor, aliento en buscar ser mejor.

RESUMEN

La perforación y voladura es una operación unitaria binomial, dentro de los desafíos del día a día en el proceso de minería y construcción. En los trabajos de voladura los efectos generados por estas como la fractura, desplazamiento del material, vibraciones generadas y otros. Además del manejo y control de estas presenta un trabajo de mejora. Para la protección de taludes y entrega de un óptimo resultado por voladura.

El presente trabajo se enfoca en la comparación de las voladuras con iniciación pirotécnica y electrónica, confrontándolas a la hora de efectuarse, mediante la evaluación de fracturamiento post voladura, monitoreo, registró de vibraciones generadas en los proyectos ejecutados en las áreas 3000 y 4000 del proyecto Quellaveco evaluados en los meses de noviembre del 2019 a marzo del 2020. Recomendando el uso de la iniciación electrónica por los resultados entregados.

Además de mencionar los trabajos de prueba que se realizaron con el uso de fractura con plasma en zonas próximas tales como: estructuras de concreto, oficinas, obras de trabajos cercanos e instalaciones a proteger etc., donde el uso de explosivos convencionales conllevaba un riesgo por la naturaleza intrínseca de estos y la ubicación de las zonas de trabajo, con el uso de plasma, se disminuyó el riesgo y probabilidad de daño por vibraciones, fly rock’s y demás efectos generados en una voladura convencional.

Palabras clave: Pirotécnico, electrónico, plasma, vibración, fractura.

ABSTRACT

Drilling and blasting is a binomial unit operation, within the day-to-day challenges of the mining and construction process. In blasting works, the effects generated by these such as fracture, displacement of the material, generated vibrations and others. In addition to the management and control of these, it presents an improvement work. For the protection of slopes and delivery of an optimal blast result.

This work focuses on the comparison of blasting with pyrotechnic and electronic initiation, confronting them at the time of being carried out, by evaluating post blast fracturing, monitoring, recording of vibrations generated in projects executed in areas 3000 and 4000 of the project. Quellaveco evaluated in the months of November 2019 to March 2020. Recommending the use of electronic initiation for the results delivered.

In addition to mentioning the test works that were carried out with the use of plasma fracture in nearby areas such as: concrete structures, offices, nearby worksites and facilities to protect, etc., where the use of conventional explosives entailed a risk Due to the intrinsic nature of these and the location of the work areas, with the use of plasma, the risk and probability of damage due to vibrations, fly rock's and other effects generated in a conventional blast was reduced.

Keywords: Pyrotechnic, electronic, plasma, vibration, fracture.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN..... iv

ABSTRACT v

ACRONIMOS Y ABREVIATURAS..... xiii

CAPITULO I..... 16

INTRODUCCION..... 16

1.1. Trayectoria del autor: 17

1.2. Descripción de la empresa:..... 18

1.3. Organigrama de la empresa:..... 19

1.4. Visión:..... 19

1.5. Misión: 19

1.6. Historia:..... 20

1.7. Área y funciones desempeñadas: 21

1.8. Ubicación del proyecto minero. 22

1.8.1. Geología regional.. 23

1.8.2. Geología local. 24

1.8.3. Geología del proyecto: 24

1.9. Antecedentes. 25

1.9.1. Antecedentes proyecto..... 25

1.9.2. A nivel Internacional. 26

1.9.3. A nivel Nacional. 27

1.9.4. A nivel Local....28

1.10. Justificación. 29

CAPITULO II....30

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD PARA DESARROLLO DE UNA VOLADURA....30

2.1. Iniciación pirotécnica....32

2.1.1. Iniciación de disparo. 32

2.2. Iniciación electrónica....33

2.2.1. Programación del disparo electrónico. 34

2.3. Fractura con Plasma....35

2.3.1. Programación de fractura con plasma....35

2.4. Medición de vibraciones....38

CAPITULO III....40

VIABILIDAD DEL PROYECTO 40

3.1. Control de voladuras....40

3.2. Registro del equipo sismógrafo....42

3.3. Diseño de los proyectos....46

CAPITULO IV 54

PRODUCTOS....54

4.1. Materias primas. 54

4.2. Altos explosivos 55

4.2.1. ENALINE®....55

4.2.2. EMULTEX® PG. 57

4.2.3. APD Booster. 58

4.3. Sistemas de iniciación. 59

4.3.1. Detonador no eléctrico dual P. 59

4.3.3. Detonador no Eléctrico LD. 61

4.3.4. Detonador Electrónico Daveytronic. 63

4.4. Plasma. 64

CAPITULO V 66

RESULTADOS 66

5.1. Objetivos. 66

5.1.1. Objetivo General. 66

5.1.2. Objetivo Específico. 66

5.2. Resultados de iniciación pirotécnica y electrónica. 66

5.2.1. Modelo de Devine. 71

5.3. Resultados con plasma. 73

5.4. Conclusiones. 77

CAPITULO VI 78

RECOMENDACIONES 78

REFERENCIAS 79

ANEXOS 83

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1 Organigrama en proyecto Quellaveco, área de trabajo resaltada.....19

Figura 2 Ubicación del proyecto minero Quellaveco. 23

Figura 3 Percutor DUKE ESI/2.....33

Figura 4 Sistema Daveytronic SP. 35

Figura 5 Equipo acumulador de energía. 36

Figura 6 Equipo generador eléctrico 220v.....37

Figura 7 Cable troncal para iniciación Energy RV-K FOC RV. 37

Figura 8 Equipo monitor de vibración, sobrepresión y sonido Minimate. 39

Figura 9 Plano de ubicación de proyecto de fractura. 41

Figura 10 Plano de ubicación de proyecto de voladura. 42

Figura 11 Diseño de carguío taladro de producción. 47

Figura 12 Diseño de carguío - taladro buffer. 48

Figura 13 Diseño de carguío - taladro precorte. 49

Figura 14 Diseño de carguío capsulas plasma - taladro producción. 50

Figura 15 Simulación líneas de isotiempo proyecto pirotécnico. 51

Figura 16 Simulación líneas isotiempo de proyecto electrónico. 52

Figura 17 Diseño de proyecto de fractura. 53

Figura 18 Detonador no electrónico composición. 60

Figura 19 Detonador electrónico composición. 64

Figura 20 Registro de vibraciones de proyecto 01 pirotécnico. 68

Figura 21 Análisis de vibraciones proyecto iniciación pirotécnica.....69

Figura 22 Registro de vibraciones de proyecto 01 electrónico. 69

Figura 23 Análisis de las vibraciones proyecto de iniciación electrónica. 70

Figura 24 Comparación de PPV entre iniciaciones. 71

Figura 25 Comparación de iniciaciones por modelo de Devine. 72

Figura 26 Registro del proyecto de fractura por plasma. 74

Figura 27 Análisis de vibraciones en fractura por plasma. 74

Figura 28 Grafica de comparación de voladuras convencionales y fractura con plasma. 75

Figura 29 ANEXO 1 - Pre-voladura con iniciación pirotécnica. 85

Figura 30 ANEXO 2 - Post voladura con iniciación pirotécnica. 85

Figura 31 ANEXO 3 - Pre-voladura con iniciación pirotécnica. 86

Figura 32 ANEXO 4 - Post voladura con indicación pirotécnica. 86

Figura 33 ANEXO 5 - Pre-voladura con iniciación electrónica. 87

Figura 34 ANEXO 6 - Pre-voladura con iniciación electrónica. 87

Figura 35 ANEXO 7 - Post voladura con iniciación electrónica. 88

Figura 36 ANEXO 8 - Post voladura con iniciación electrónica. 88

Figura 37 ANEXO 9 - Pre-voladura con iniciación electrónica. 89

Figura 38 ANEXO 10 - Post voladura con iniciación electrónica. 89

Figura 39 ANEXO 11 - Pre fractura con plasma. 90

Figura 40 ANEXO 12 - Post fractura con plasma. 90

Figura 41 ANEXO 13 - Contorno a proyecto post fractura. 90

Figura 42 Inspección del área de voladura. 91

Figura 43 Primado de booster y colocación. 91

Figura 44 Carguío de taladro y medición de Anfo. 92

Figura 45 Taladro tapado. 92

Figura 46 Primado de detonador electrónico. 93

Figura 47 Carguío de taladro de voladura. 93

Figura 48 Detonador electrónico Daveytronic. 94

Figura 49 Cierre de accesos a proyecto de voladura. 94

Figura 50 Realización de amarre de malla de voladura. 95

Figura 51 Culminación de trabajos en malla de voladura. 95

Figura 52 Filmación de malla de voladura. 96

Figura 53 Programación de detonador electrónico. 96

Figura 54 Equipo sismógrafo en punto de monitoreo. 97

Figura 55 Ronominer. 97

Figura 56 Mine i-Truck. 98

Figura 57 Camión fabrica. 98

Figura 58 Diagrama de proceso de fractura con plasma. 99

Figura 59 Estratigrafía de Moquegua. 100

Figura 60 Anfo premiun. 101

Figura 61 Emulsión encartuchada Enaline. 101

Figura 62 Emulsión encartuchada Emultex. 102

Figura 63 APD Booster. 102

Figura 64 Detonador no electrónico dual P. 103

Figura 65 Detonador no electrónico SP 103

Figura 66 Detonador no eléctrico LD. 104

Figura 67 Detonador electrónico Daveytronic. 104

Figura 68 Capsulas de plasma. 105

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Características de los explosivos vs plasma. 43

Tabla 2 Datos de voladuras con iniciación pirotécnica área 4 000. 44

Tabla 3 Datos de voladuras con iniciación electrónica área 3 000. 45

Tabla 4 Datos de proyecto fractura con plasma en área 3000. 45

Tabla 5 Consumo del proyecto de fractura. 46

Tabla 6 Ficha técnica de Anfo Premium. 55

Tabla 7 Caja dimensiones de Enaline. 56

Tabla 8 Ficha técnica de Enaline. 56

Tabla 9 Caja de Emultex PG. 57

Tabla 10 Ficha técnica de Emultex PG. 57

Tabla 11 Ficha técnica de APD Booster. 58

Tabla 12 Tipos de APD Booster caja. 59

Tabla 13 Ficha técnica de Detonador no eléctrico dual P. 60

Tabla 14 Ficha técnica Detonador no eléctrico SP. 61

Tabla 15 Ficha técnica Detonador no eléctrico LD. 62

Tabla 16 Ficha técnica Daveytronic SP. 63

Tabla 17 Ficha técnica de Plasma. 65

Tabla 18 Resultados de voladuras pirotécnicas en área 4 000. 67

Tabla 19 Resultados de voladuras electrónicas en área 3 000. 67

Tabla 20 Resultados del proyecto de fractura con Plasma. 75

Tabla 21 Tipos de edificaciones y valores de "Norma alemana DIN 4150". 76

Tabla 22 Comparación entre explosivos y plasma. 76

ACRONIMOS Y ABREVIATURAS

%	Porcentaje.
ANFO	Ammonium nitrate – Fuel Oil.
ATS	Análisis de trabajo seguro.
B	Burden (distancia a la cara libre).
cc	Centímetros cúbicos.
Check list	Formato de inspección.
cm	Centímetros.
Cu	Cobre.
dB.	Decibeles.
Este	Punto cardinal Este.
E	Espaciamiento (distancia entre barrenos de una misma fila).
EIA	Estudio de impacto ambiental.
ϕ.	Diámetro.
F.C	Factor de carga.
F.P	Factor de potencia.
g/cc	Gramos por centímetro cubico.
ha.	Hectárea.
hr.	Hora.
Hz	Hertz (Frecuencia es la medida del número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo.)
IPERC	Identificación de peligros evaluación y control de riesgos.
Kbar	Kilo bar unidad de presión.
Kcal/Kg	Kilo calorías por kilogramo.
Kg.	Kilogramo.

Kg/m	Kilogramo por metro.
Kg/m2	Kilogramo por metro cuadrado.
Kg/m3	Kilogramos por metro cubico.
Kg/tal.	Kilogramos por taladro.
Kg/Tn	Kilogramos por tonelada.
KJ/Kg	Kilo joule por kilogramo unidad de energía.
Km	Kilometro.
L/Kg	Litro por kilogramo.
m	Metros.
m/s.	Metros por segundo.
m2	Metro cuadrado.
m3	Metro cubico.
mg.	Miligramo.
mm	Milímetros.
mm/s.	Milímetros por segundo.
Mo	Molibdeno.
msnm	Metros sobre el nivel del mar.
N	Norte.
NO	Nor Oeste.
PETAR	Planta de tratamiento de agua residual.
PTAP	Planta de tratamiento de agua potable.
Pulg.	Pulgadas.
pza.	Pieza.
S. A.	Sociedad anónima.
S. A. S.	Sociedad por acciones simplificadas.
S/.	Nuevos Soles Peruanos.

SE	Sur Este.
SRL	Sociedad de responsabilidad limitada.
Tm	Toneladas.
Und	Unidad.
US$	Dólares americanos.
UTM	Sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator.
v.	Voltio.

CAPITULO I

INTRODUCCION

El contenido del plan menciona los trabajos de voladura realizados en las áreas 3000 y 4000 por la empresa Enaex S.A., encargada de efectuar las voladuras realizando los trabajos de inicio en una malla de voladura hasta el momento de iniciación sea por método pirotécnico y/o electrónico, de las voladuras realizaremos una comparación entre los resultados entregados. Un detalle siempre a tomar en las voladuras es la mejora por los resultados o efectos etc., que generan y como lograr un mejor trabajo y resultado. También se nombra los trabajos de prueba realizados con Plasma en zonas específicas por su ubicación, siendo una alternativa a trabajos minuciosos, un aspecto siempre a considerar es la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías como el plasma, que al no ser un material explosivo da una confiabilidad a su trabajo y manipulación; pero que aún sigue en desarrollo y mejora.

1.1. Trayectoria del autor:

Durante los años 2015 - 2020 se ejerció los siguientes cargos como Operario de plantas PTAP y PETAR, Supervisor de plantas PATP y PTAR, Supervisor de seguridad, Dispatch, y Operario de piso.

2019 (Abril a Octubre del 2020). Operario de piso en la empresa Enaex en el proyecto Quellaveco. Labor realizada carguío de mallas de voladura, amarre de malla, troncal y evaluación registro post voladura.

2018 (Mayo a Octubre). Distpach en la empresa San Martin contratistas generales. Labor realizada el monitoreo de los tajos 2-3, 5 y 10, reportando el consolidado de producción de desmonte y mineral por guardia, realizando el reporte de metros perforados por guardia, número de taladros, metros perforados, reporte de flota de equipos y horómetros de unidades.

2017 (Enero a Marzo del 2018). Supervisor de seguridad en la empresa Cobiser SRL en el campamento de Toquepala y la ciudad de Ilo, Labor realizada la supervisión de trabajos en campamento, fundición, refinería y patio puerto, llenado de herramientas de gestión actualización de matriz IPERC y asesoría antes del inicio de nuevos trabajos.

2016 (Marzo a Mayo). Operario de plantas agua PTAP y PTAR en la empresa Aguas y Efluentes S.A. En el campamento de Quellaveco, Labor realizada dar el mantenimiento y monitoreo de agua y efluentes en las plantas del campamento.

2015 (Noviembre a Febrero del 2016). Supervisor de plantas de agua en el campamento de Quellaveco para la empresa ARAMARK, Labor realizada coordinación de trabajos, vigilancia de plantas, reporte de parámetros, consumo de insumos y medición de parámetros.

1.2. Descripción de la empresa:

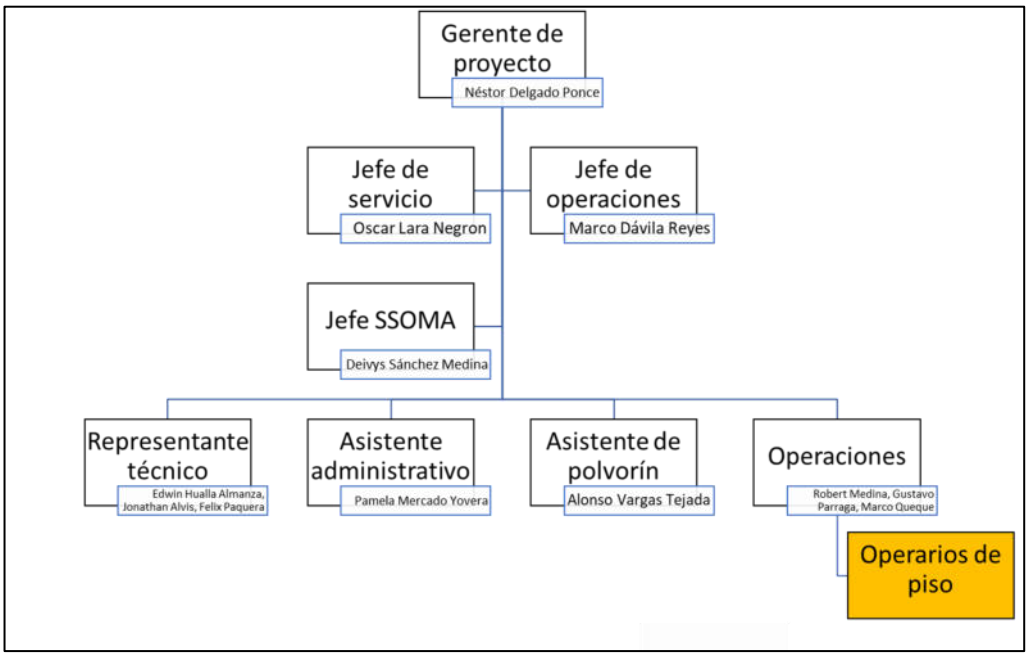
Enaex cuenta con más de 99 años de experiencia y trayectoria en el mercado de explosivos, desde el año 1990 es una filial del grupo SIGDO KOPPERS y a lo largo de su historia ha logrado establecerse como el tercer productor de nitrato de amonio más grande del mundo.

La compañía mantiene contratos con empresas mineras de alto prestigio, constituyendo una importante cartera de clientes con las principales unidades mineras a cielo abierto y subterráneas de la región. En Chile, Argentina, Brasil, Colombia y Perú entrega servicios de fragmentación de roca y voladura, en donde también cuenta con una extensa red de plantas de servicio ubicadas en las respectivas faenas mineras, donde entrega diferentes servicios tales como disparo de voladura, carguío de agentes de voladura, amarre superficial, tapado de pozos, chequeo de perforaciones, administración de polvorines, entre otros. En Latinoamérica, la compañía se destaca por su continuo crecimiento, en Colombia con su filial Enaex Colombia S.A.S y construcción de una planta de emulsiones encartuchadas de alta tecnología operando desde el año 2010, luego en Argentina, a través de su filial Enaex Argentina SRL con una planta de emulsiones a granel operando desde el año 2014, en Perú, a través de la adquisición del 80% de la compañía local Chemtrade. Por último, en el año 2015 la compañía se consolidó en Brasil, adquiriendo el 100% de IBQ Industrias Químicas (Britanite), la mayor empresa brasileña de fabricación y comercialización de explosivos civiles. La compañía se destaca por ser innovadora y sostenible, otorgando excelencia en calidad, seguridad y pasión por el servicio, valores intransables a la hora de satisfacer las necesidades del cliente y por entregar soluciones integradas en terreno. (Enaex, 2019, pág.11)

1.3. Organigrama de la empresa:

Figura 1

Organigrama en proyecto Quellaveco, área de trabajo resaltada.



Nota. Elaboración propia con los datos de la empresa Enaex S.A.

1.4. Visión:

Ser la compañía más prestigiosa en la industria entregando soluciones de alto valor a las regiones mineras más importantes del mundo. (Enaex, 2019, pág. 10)

1.5. Misión:

Crecer junto a los clientes, suministrando Nitrato de Amonio, químicos asociados y servicios a la minería de alta calidad.

Entregar estándares de nivel mundial en seguridad, confiabilidad y servicios innovadores.

Tener presencia global, con liderazgo en latino américa.

Generar valor a los accionistas y trabajadores.

Ser reconocidos como una empresa respetuosa con la comunidad y el medio ambiente. (Enaex, 2019, pág. 10)

1.6. Historia:

- 2018 adquisición del 70% de Industrias Cachimayo S.A., ubicada en la localidad de Cusco, Perú.
- 2017 se realizó el lanzamiento de dos nuevos desarrollos tecnológicos, RoboMiner® y Mine-iTruck®,
- 2015 compra de Davey Bickford y adquisición de Britanite.
- 2014 adquiere presencia en Perú con la asociación con Chemtrade.
- 2012 expansión a Brasil. Nuevo Ciclo Enaex.
- 2010 el complejo de nitrato de amonio más grande del mundo.
- 2007 crea filial en Argentina.
- 2006 proyecto Bonos de Carbono.
- 1990 entrada de Sigdo Koppers.
- 1983 inicio de la producción de nitrato de amonio.
- 1982 servicios en minería subterránea.
- 1974 primer camión fábrica.
- 1972 el estado chileno, a través de CORFO.
- 1920 fundación de Enaex.

Nota. Tomado de memoria anual. (Enaex, 2019, pág. 15)

1.7. Área y funciones desempeñadas:

Me desempeñe en el área de operaciones como Operario de piso en la empresa Chemtrade S.A.C. - Enaex, realizando las siguientes funciones.

- Reconocimiento del área de voladura, cierre, delimitación de proyecto de voladura o fragmentación.
- Llenado de herramientas de gestión, ATS, IPERC, Check list y PETAR.
- Medición de taladros, registro de numero de taladros, reporte de alturas en campo.
- Descarga, distribución de explosivos y accesorios de voladura.
- Primado y carguío de taladros en proyecto de voladura o fragmentación, medición y control de carga por taladros.
- Aplicación de deck en taladros (deck, cámara de aire).
- Amarre de malla, amarre de troncal de voladura.
- Verificación de malla, filmación de malla.
- Programación de retardos electrónicos, tendido de línea silenciosa.
- Colocación de equipos para voladura con inicio electrónico, preparación de línea silenciosa.
- Programación de voladura, disparo electrónico o pirotécnico.
- Verificación en proyecto de voladura o fragmentación, recojo de equipos.
- Control de accesos como vigía de voladura.
- Segregación de residuos de voladura.
- Inspección de herramientas y materiales de campo.

- Reporte de actos y condiciones subestándar en campo y oficinas.

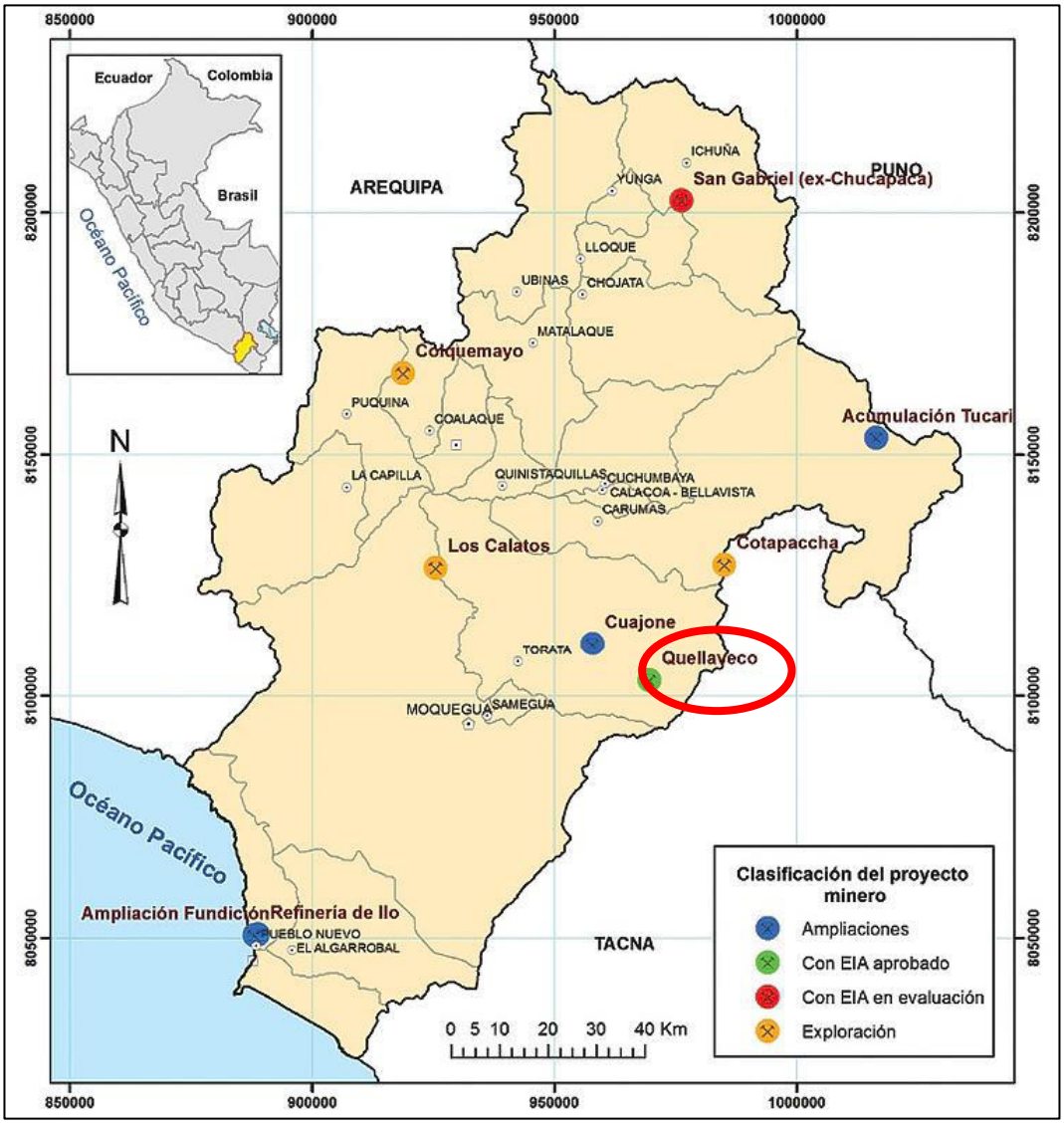
1.8. Ubicación del proyecto minero.

El Proyecto está ubicado en el distrito de Carumas y Torata (figura 2), provincia de Mariscal Nieto, Región de Moquegua, abarcando una extensión de 362,85 ha. El Proyecto consiste en la explotación de un yacimiento de cobre y molibdeno. Las cuencas que comprenden el área de estudio son: las del rio Coscori, río Asana, río Charaque, río Huacanane, río Capillune, río Tumilaca, las cuencas de las quebradas Salviani y Cortadera. (Walsh Perú S.A, 2012)

- Departamento : Moquegua.
- Provincia : Mariscal Nieto.
- Distritos : Carumas y Torata.
- Coordenadas UTM : 8´107,795 N; 330,893 Este

Figura 2

Ubicación del proyecto minero Quellaveco.



Nota. Tomada de (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

1.8.1. Geología regional.

La región se desarrolla sobre un antiguo frente de arco magmático, activo desde el Cretácico superior hasta el Paleógeno, que se extiende de forma alargada en la ladera oeste de la actual Cordillera Occidental del sur del Perú (Martinez y Zuloaga, 2001). Este arco comprende una potente serie

volcanoclástica compuesto por tobas soldadas, brechas piroclásticas, coladas andesíticas, conglomerados, areniscas, tobas porfiríticas y coladas riolíticas, representado por las formaciones Huaracane, Inogoya, Paralaque y Quellaveco del Grupo Toquepala. Esta serie es intruida por un conjunto de plutones con facies granodioríticas a monzoníticas asociadas a la Superunidad Yarabamba. (Schlumberger Water Services Perú S.A, 2014)

1.8.2. Geología local.

La geología local del proyecto comprende principalmente estratos volcánicos del Grupo Toquepala y cuerpos intrusivos de la Super unidad Yarabamba, de edades en el intervalo Cretácico superior a Paleoceno. Suprayaciendo a este substrato se exponen secuencias sedimentarias de las formaciones Moquegua superior y Millo de edad Oligoceno y Plioceno respectivamente. Estos afloramientos rocosos son cubiertos por depósitos de edad Cuaternario de origen aluvial principalmente. (Schlumberger Water Services Perú S.A, 2014)

1.8.3. Geología del proyecto:

El yacimiento Quellaveco es un pórfido de Cu-Mo, ubicado a 36 km al este de la ciudad de Moquegua, a una altitud de 3 550 a 3 900 msnm. En el área aflora una secuencia volcánica constituida por riolitas y andesitas, intruídas por un pluton de naturaleza tonalítica, granodiorítica, estas a su vez fueron intruídas por un stock cuarzo-monzonítico. Los lineamientos estructurales predominantes tienen una orientación NO-SE, coincidente con el eje mayor del stock cuarzo-monzonítico. (Acosta et al., 2011, pág. 15)

1.9. Antecedentes.

La voladura es la acción de fracturar o fragmentar la roca del suelo, para la extracción de algún elemento metálico o de interés con valor económico, mediante el empleo de equipos de perforación y explosivos. Las voladuras pueden ser controladas, o no, pueden ser a cielo abierto, en galerías.

Para este proceso intervienen variables que en determinados casos son controlables y en otros casos no se pueden controlar, estas afectan el resultado y su entorno que lo rodea en la labor ejecutada.

1.9.1. Antecedentes proyecto.

El Área del Proyecto, abarca 1 608,73 ha y está definida como el área efectiva de las actividades de perforación, la cual corresponde a las zonas donde se ubicarán las plataformas de perforación, así como otros componentes, incluyendo la habilitación de accesos. En la realización de las actividades de perforación se considera la utilización de aditivos de perforación, aceites y grasas. El suministro de aditivos, combustible y/o explosivos, se realizará cada día de acuerdo con el requerimiento del Proyecto.

Durante la etapa de construcción de las actividades concernientes, se utilizarán explosivos del tipo ANFO en las voladuras requeridas para la remoción del material superficial de suelo y para la construcción de túneles y caminos. El almacenamiento, transporte y manejo de explosivos estará a cargo de una empresa contratista especializada en voladura, quien a su vez será el proveedor de explosivos y garantizará el adecuado almacenamiento y manejo de estos conforme a la normativa legal vigente.

El uso de explosivos será implementado donde no sea posible la aplicación de otros métodos. Previo a determinar dicho uso, se estudiarán alternativas de trazado

que reduzcan al mínimo los explosivos a utilizar. En todos los casos, no se considera la realización de más de una voladura al día. (Knight Piésold Consultores, 2008)

1.9.2. A nivel Internacional.

Una investigación de comparación del tubo de choque y los sistemas de detonación electrónicos que se practican en la voladura de banco. Las pruebas de voladura se llevaron a cabo en rocas sobrecargadas de las formaciones Garnet Biotite Sillimanite Gneis en una de las minas metalíferas más grandes de la India. El estudio reveló que la elección del sistema de detonación fue crucial para decidir el tamaño del fragmento y su distribución dentro de los montones de escombros. (Suresh & Piyush, 2016)

Las características de las vibraciones del suelo inducidas por voladuras dependen fundamentalmente de la cantidad de explosivos detonados en un momento dado o de la carga máxima por demora, la distancia del punto de interés, los intervalos de demora empleados en la ronda de voladuras y la geología local predominante juegan un papel importante en la generación de vibraciones. Se cree que el tiempo de retardo óptimo entre los barrenos adyacentes y las filas de barrenos da como resultado una mejor utilización de la energía explosiva y por lo tanto, da como resultado una buena fragmentación con un nivel más bajo de vibración. Una combinación adecuada de peso explosivo y tiempo de retardo permite suficiente espacio para la expansión del macizo rocoso (hinchamiento) entre filas en caso de voladuras de varias filas, mientras que cualquier restricción inadecuada debido a errores en el tiempo de retardo entre pozos en el movimiento del macizo rocoso aumenta velocidad de las partículas y disminuye la eficiencia de la voladura. (Agrawal & Mishra, 2021)

1.9.3. A nivel Nacional.

La voladura con detonadores electrónicos dio mejores resultados que con pirotécnicos, el P80 con detonadores pirotécnicos fue 3.9” y con detonadores electrónico fue 3.34” con el cual se obtuvo una mejora de un 14.6%; la productividad de pala con detonadores pirotécnicos es 2 982,37 Tm/H y con detonadores electrónicos es 3 323.27 Tm/H; con una mejora de 11.4% en productividad. (Cueva & Herrera, 2019)

Se planteó la hipótesis que la voladura con detonadores electrónicos optimiza significativamente la fragmentación y la seguridad en el Tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A. Para lograr las metas de la investigación se eligió como población al total de los bancos de producción del Tajo Toromocho; y, la muestra fue los bancos del lado Este, con rocas de dureza 3 y 4, y los bancos del lado Oeste con rocas de dureza 2. En ellas se disparó taladros con detonadores pirotécnicos y la misma cantidad con detonadores electrónicos. La voladura con detonadores electrónicos dio mejores resultados que con detonadores pirotécnicos. (Peña, 2019)

Estudio de los procesos de perforación y voladura y su implicancia en el rendimiento y seguridad en Sociedad Minera Cerro Verde. El avance tecnológico en los sistemas de iniciación en voladura nos permite adecuarnos al moderno y preciso sistema de iniciación electrónica, mediante el cual podemos controlar la energía liberada en un disparo, optimizando la fragmentación y disminuyendo el daño a las paredes. El sistema de iniciación con detonadores electrónicos fija con claridad los conceptos de precisión, flexibilidad, rendimiento y principalmente de seguridad. (Peralta, 2019)

1.9.4. A nivel Local.

Durante la etapa de construcción de las actividades concernientes a la modificación del EIA, se utilizarán explosivos del tipo ANFO en las voladuras requeridas para la remoción del material superficial de suelo y para la construcción de túneles y caminos. El almacenamiento, transporte y manejo de explosivos estará a cargo de una empresa contratista especializada en voladura, quien a su vez será el proveedor de explosivos y garantizará el adecuado almacenamiento y manejo de los mismos conforme a la normativa legal vigente.

El uso de explosivos será implementado donde no sea posible la aplicación de otros métodos. Previo a determinar dicho uso, se estudiarán alternativas de trazado que reduzcan al mínimo los explosivos a utilizar. (Knight Piésold Consultores, 2008, pág. 1009)

El análisis y aplicación de cápsulas de plasma en la fragmentación de rocas en el proyecto minero Quellaveco–Moquegua. El presente estudio tiene la finalidad de analizar la viabilidad en términos de seguridad, técnicos, económicos y de operatividad con la aplicación de Cápsulas de Plasma un producto tecnológico innovador no explosivo para la fragmentación de rocas en el proyecto minero Quellaveco. Este nuevo producto no explosivo, tanto en su composición como en su sistema de iniciación, presenta ventajas favorables frente al uso de los explosivos convencionales para la fragmentación de rocas. (Esperilla, 2019)

Aplicación del plasma 4TH para fragmentación controlada en la plataforma T7-proyecto Quellaveco. El presente estudio describe la aplicación de la tecnología plasma, el cual tiene como objetivo, realizar un control eficiente de los

daños inducidos por vibración y fly rock en zonas cercanas a la plataforma T7 – proyecto Quellaveco. (Cuayla, 2019)

1.10. Justificación.

Enaex tiene un contrato para los trabajos de voladura desde el año 2018 al presente realizando voladuras para la apertura de vías, generación de plataformas, conformación de bancos, apertura de canales, conformación de pozas de almacenamiento, etc., donde la existencia de estructuras de rocas limita la acción mecánica de equipos de remoción de tierra y roca, se debe realizar el uso de explosivos para poder remover estas estructuras de una manera eficiente y segura.

Entregando no solo la rotura sino un debido resultado para la remoción de estas y facilitar los trabajos de los equipos mecánicos de carguío y transporte. El presente trabajo describe las labores en el proceso de voladura de inicio a fin en las áreas 3 000 y 4 000. Y además las alternativas de los métodos de iniciación buscando demostrar los resultados obtenidos por vibraciones registradas, factor de potencia, desplazamiento a punto de monitoreo en las voladuras, para determinar cual genera menores efectos de daño, además de mencionar las pruebas realizadas con plasma en zonas de riesgo por su ubicación en la realización de los trabajos.

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD PARA DESARROLLO DE UNA VOLADURA.

Los trabajos de voladura inician con la reunión semanal del plan de voladura, luego de esta se verifica por parte de operaciones un día antes de la voladura el sector a trabajar al día siguiente, se alistan los materiales y equipos para campo, se coordina con las cuadrillas los proyectos, para la partida del equipo de trabajo al punto de voladura se realiza a primeras horas de la mañana. La supervisión evaluara las condiciones del proyecto de voladura al arribar, y coordinara con el personal para el inicio de las tareas.

El personal debe realizar el llenado de sus herramientas de gestión. Identificando los peligros, riesgos asociados a su tarea y sus medidas de control. Las herramientas de gestión deben ser firmadas por la supervisión revisando que estén debidamente llenadas.

Se realiza la charla de cinco minutos por parte de seguridad a todo el personal, registrado el tema y los datos del personal en campo.

El proyecto de voladura se delimita con: conos rojos y barras extensibles en el ingreso del proyecto y con conos amarillos en el contorno, cinta roja y estacas en lugares que no cuente con berma de seguridad, letreros (Peligro área cargada con explosivo, prohibido el ingreso solo personal autorizado, prohibido fumar, prohibido el uso de celulares y zona segura de parqueo), para señalizar y delimitar el área de carguío, colocando barricadas de color (rojo).

Tomar la distancia prudente de 1 a 2 metros de separación de talud y cresta, contar con un vigía para la observación y comunicación en caso se tenga condiciones que represente un peligro para el personal.

El primado se realizará a un costado de la boca del taladro evitando así su exposición a caída de booster y accesorio dentro del taladro, realizando la inserción del fulminante dentro del booster y descendiéndolo de manera vertical al taladro, guiando el tubo de choque a lo largo del taladro y evitando que estos se enreden o se corten hasta el fondo del taladro.

Se debe asegurar el sobrante de la línea descendente con una roca a un costado del taladro.

Una vez primado se procede a cargar con el explosivo acorde al diseño de carga del explosivo a utilizar.

Luego se realiza la colocación de cámara de aire (en el caso que se contemple en el diseño) y tapado del taladro con el detritus acorde al diseño de voladura según corresponda.

Se verifica el plano de conexión amarre, se respeta el diseño de amarre (salvo exista alguna condición en campo que al ser evaluada por supervisión indique su cambio), debe asegurarse de contar con el personal y material necesario para realizar la tarea.

Terminado el trabajo en malla se esperará las indicaciones de supervisión para retiro y distribución de vigías. Antes del cierre de accesos se dará un conteo de los vigías, personal, unidades móviles con el conteo de todo el personal distribuido con unidades de refugio en cada vigía fuera de la malla. Una vez realizada la voladura se tomarán 5 minutos para la evacuación de polvo y gases, luego de transcurrido este tiempo se procederá al ingreso de la supervisión y personal designado para la evaluación de la voladura y constatación de haber detonado todos los taladros, toma de evidencias para registro, recolección de testigos y recojo de equipos. Cuando se realicen voladuras simultaneas de 2 o más proyectos, se coordinará la secuencia de salida.

2.1. Iniciación pirotécnica.

El sistema no eléctrico presenta varias ventajas con respecto al sistema a fuego, ya que no tiene límite de pozos, se pueden asignar tiempos de retardos, lo que lleva a una disminución de la presión sonora, “vibraciones y proyecciones de roca”. Además, la composición del fulminante le otorga más seguridad frente a corrientes vagabundas.

Para la colocación y tendido de la línea silenciosa, debe contar con los accesos cerrados al radio de voladura y no tener tránsito de equipos dentro del área de trabajo, para realizar su tendido, por cada disparo se deben de contar con cuatro rollos de línea silenciosa.

El supervisor de voladura verificara el extendido de la línea silenciosa y que el percutor/Starter esté en perfectas condiciones para la orden de fuego.

2.1.1. Iniciación de disparo.

Para la realización de disparo pirotécnico se usa el siguiente equipo:

- Percutor “DUKE ESI STARTER ESI/2” (figura 3).
- Batería de 9 voltios.

Figura 3

Percutor DUKE ESI/2.



Nota. página web www.blastengineeringla.com

- A – Iniciador Duke ESI/2.
- B – Punta de repuesto.
- C – Interruptor Duke.

2.2. Iniciación electrónica.

El sistema de Iniciación electrónico tiene la particularidad de enviar una señal codificada (electrónica) para iniciar un tren de retardo, este sistema es lo último en tecnología y llego a solucionar el problema de dispersión (error) que presentan los detonadores no eléctricos (o pirotécnicos), la cual es cercana al 5%. El sistema electrónico que manejan las dos grandes empresas proveedoras de explosivos en Chile, Enaex y Orica, tienen un error aproximado del 0,02% y 0,05% respectivamente.

La iniciación “eléctrica” se basa en la inflamación de la carga explosiva sensible del detonador mediante el calentamiento hasta incandescencia de una pequeña resistencia eléctrica de puente, comúnmente denominada gota pirotécnica. Se ocasiona, por tanto, mediante la conversión de electricidad en calor. Tiene la ventaja

de que cada detonador por separado y el circuito completo pueden ser comprobados antes de realizar la voladura, además de que a diferencia de la iniciación con mecha y fulminante se tiene a voluntad y bajo control el momento preciso de la detonación, que puede ser simultánea para un gran número de tiros mediante detonadores de acción instantánea o por lo contrario, deteniendo cada tiro en intervalos de tiempo muy exactos y cortos, mediante detonadores de acción retardada, lo que es fundamental para voladuras de magnitud.

El esquema de encendido eléctrico corresponde a la ubicación escalonada de diferentes detonadores de tiempo en una voladura, siendo de gran importancia, como en todo proceso de iniciado, que los correspondientes a los taladros de arranque salgan primero, y el resto en orden gradual para obtener salidas sucesivas conforme al diseño de disparo. (Universidad Tecnológica de Chile, 2021, pág. 87)

2.2.1. Programación del disparo electrónico.

Para la programación del disparo electrónico se utiliza los siguientes equipos dentro de la maleta pelicano (figura 4).

- 1 - PU: Unidad de programación.
- 2 - DBD: Davey Blast Driver.
- 3 - DRB: Davey Remote Blaster
- 4 - Tarjeta de seguridad RFID
- 5 - Cargadores y adaptadores.
- 6 - Maleta pelicano.
- 7 - Cable M35.

Figura 4

Sistema Daveytronic SP.



Nota. Área de asistencia tecnica Enaex.

2.3. Fractura con Plasma.

El proceso también inicia con la delimitación del área de fractura, medición de taladros, descarga de las cajas de plasma y materiales, repartir las salchichas de plasma acorde al diseño de fractura por taladro, realizar las conexiones entre las salchichas, aislar los cables de las uniones entre salchichas, proceder al testeo del circuito, tapado de los taladros, ubicar el equipo acumulador, conectar el equipo a la troncal del cable, conectar el equipo a la línea de alimentación, realizar el proceso de acumulación y descarga para el proceso de fractura.

2.3.1. Programación de fractura con plasma.

Para la programación los equipos son portátiles y tienen una alta capacidad de iniciación de número de hoyos para Plasma a granel o cápsulas

para Plasma encartuchado, con capacidad de programar retardos, se utiliza los siguientes:

- Equipo generador eléctrico de 220 voltios (figura 5).
- Equipo de iniciación o acumulador eléctrico 4000 voltios (figura 6).
- Cables de conexión para circuito (figura 7).

Figura 5

Equipo acumulador de energía.



Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

Figura 6

Equipo generador eléctrico 220v.



Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

Figura 7

Cable troncal para iniciación Energy RV-K FOC RV.



Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

2.4. Medición de vibraciones.

Previamente antes de la partida al proyecto se debe tener cargados y probados los equipos de monitoreo, la memoria debe contar con espacio para almacenamiento, el supervisor de voladura en la reunión Meeting (pre voladura) coordinara la ubicación del equipo sismógrafo, el personal de Asistencia técnica pedirá el permiso correspondiente al supervisor de voladura para ingresar a realizar la colocación del equipo sismógrafo, vía radial se informara la ubicación del sismógrafo, para la instalación se realizara una excavación de 10 cm de profundidad la base se nivelara con arena fina, ubicado el equipo y posicionado en dirección al proyecto se conectara el geófono y se fijara en dirección al proyecto (voladura o fractura) se nivelara, se colocara un saco con finos no mayor a 25 kg sobre el equipo de registro, se procederá a realizar los test de nivelación con el equipo encendido (si se registra problemas se procede a volver a nivelar hasta que el error desaparezca).

Luego se realizarán los test de verificación de los canales en el monitor para corroborar su nivelación (figura 8), se configura el equipo, se deja encendido y se protege el equipo con un case, se delimita con conos para identificar su ubicación.

Figura 8

Equipo monitor de vibración, sobrepresión y sonido Minimate.



Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

CAPITULO III

VIABILIDAD DEL PROYECTO

El proyecto es viable, porque al emplear ambos métodos en los trabajos de voladura en las áreas 3 000 y 4 000 se logró realizar la generación de plataformas, apertura de tramos, generación de pozas, generación de canales y movimiento de tierra masivo. Los mismos que resultaron viables al lograr ser planificados, programados, modelados con software O-pitblast y ejecutados con las voladuras con iniciación pirotécnica y electrónica.

Se registro las vibraciones de las voladuras con un equipo sismógrafo colocado a distintas distancias de los proyectos, para tener un registro del PPV en distintas zonas y con diferentes cantidades de explosivo, la variación de la voladura con iniciación pirotécnica a la electrónica se diferencia en su registro por (8.75 mm/s) PPV, en la distancia más próxima, siendo la iniciación electrónica menor, el registró de medición fue tomado a una misma distancia de 40 metros al proyecto.

Con las pruebas realizadas con plasma se registró a una distancia de 50 metros un valor de (3.88 mm/s) PPV, este se diferencia en su registro de vibración a la voladura con iniciación pirotécnica por (14.46 mm/s) PPV y a la voladura con iniciación electrónica por (12.30 mm/s) PPV, estos últimos registros se tomaron a una misma distancia de 50 metros.

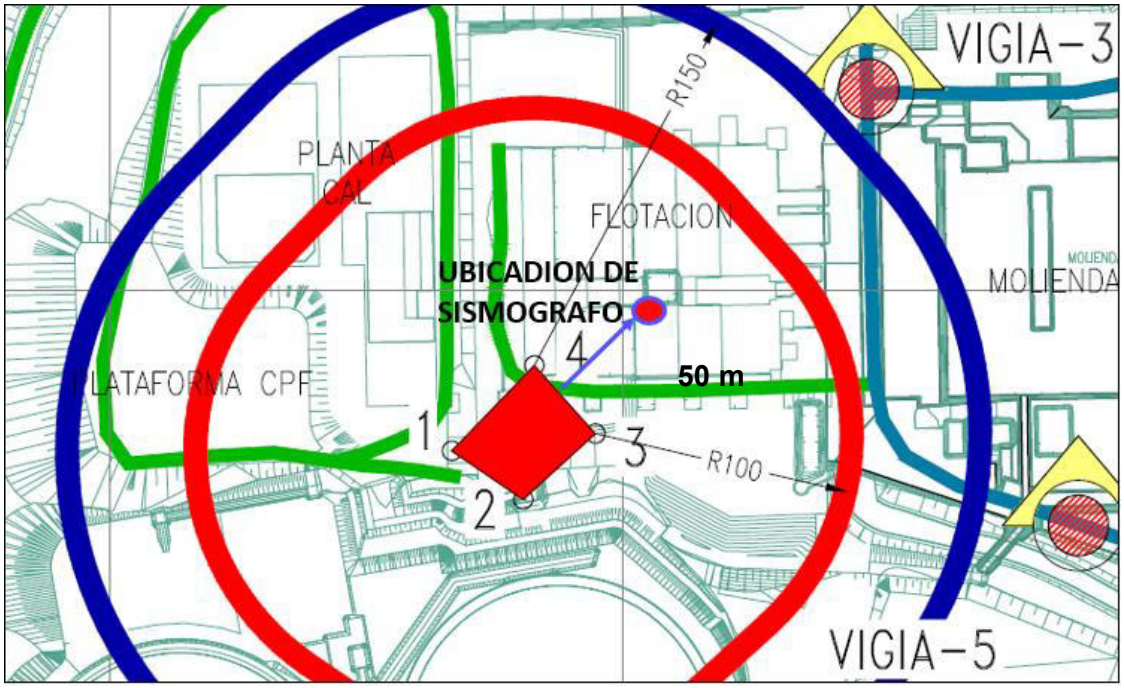
3.1. Control de voladuras.

Ante el desafío de realizar voladuras con un mejor control sobre los efectos generados por el uso de explosivos. El presente trabajo reúne la información de campo recolectada de las voladuras ejecutadas y los trabajos con plasma, se evaluó en cuanto a la cantidad de Anfo utilizado, cantidad de salchichas con plasma, el

método de iniciación pirotécnico, electrónico y el método de fractura con plasma, la distancia de colocación del equipo sismógrafo (figura 9), el registro de la velocidad PPV, los registros fotográficos pre-voladura, post voladura, la proyección de material (fly rocks) y la afectación a zonas próximas a los trabajos efectuados.

Figura 9

Plano de ubicación de proyecto de fractura.



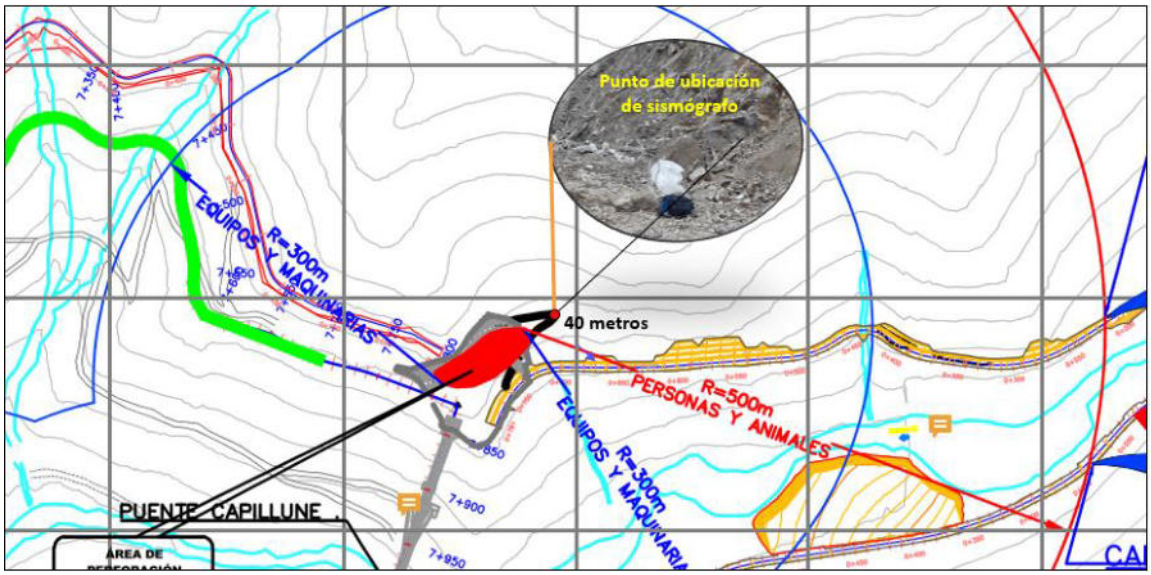
Nota. Brindado por área de asistencia técnica Enaex.

Como se puede apreciar en la (figura 9) la ubicación del equipo sismógrafo, en el “proyecto de fractura de la plataforma de flotación” los radios de distancia a equipos y personas representados por el color rojo para equipos a 100 metros de distancia, el radio de color azul a 150 metros para personas y animales, cerrado por los vigías en puntos clave distribuidos para poder realizar el cierre de accesos al inicio del protocolo y apertura al final del protocolo.

Para el “proyecto de voladura piscina de emergencia plataforma de relaves” por iniciación pirotécnica donde observamos (figura 10) que los radios de evacuación aumentan para equipos a una distancia de 300 metros color (rojo), para personas, animales el radio de evacuación y cierre es de 500 metros color (azul).

Figura 10

Plano de ubicación de proyecto de voladura.



Nota. Brindado por área de asistencia técnica Enaex.

3.2. Registro del equipo sismógrafo.

Con los registros obtenidos por el equipo sismógrafo, observamos las mediciones de las vibraciones generadas a los contornos de los proyectos de voladura (tabla 2 y 3), también con estos valores podremos utilizar los datos para calcular mediante el modelo de Devine, el impacto en campo lejano de las voladuras con iniciación pirotécnica, electrónica y la fractura con plasma a una misma distancia desde el lugar de la voladura al punto de colocación del sismógrafo, con estos resultados podremos evaluar los efectos de estas y compararlos, para determinar el método más seguro.

Si se desea tener un control sobre las vibraciones y otros efectos en la utilización de explosivos y el plasma como un no explosivo, debemos identificar sus características en la (tabla 1) siguiente.

Tabla 1

Características de los explosivos vs plasma.

Características	Explosivos	Plasma
Componentes	Nitratos M(NO3)n + agente	Mezcla metal y óxido metálico
Método de activación	Detonador (polvo de alta densidad) Booster	Descarga o arco eléctrico
Energía de voladura	Mayor 800 Kcal/Kg	Entre 409 y 980 Kcal/Kg
Permisos	Requiere controles y permisos de SUCAMEC	Exento de control

Nota. Elaboración propia con información de asistencia técnica Enaex.

Con la información recopilada de las voladuras con iniciación pirotécnica realizadas en el área 4 000 se procederá a trabajar el modelo de Devine para campo lejano de los proyectos (PY-P) mostrados en la (tabla 2) siguiente.

"Un detonador pirotécnico presenta una dispersión de hasta un 7%, lo que nos lleva a no generar una buena secuencia de iniciación, un menor control de las vibraciones y otros efectos sobre la roca". (Universidad Tecnológica de Chile, 2021, pág. 77)

Tabla 2

Datos de voladuras con iniciación pirotécnica área 4 000.

PY-P	MALLA		F.P	F.C	Hertz	Dist. de sismógrafo (m)P	PPV (mm/s)
	E	B	Kg/Ton	Kg/m^3	Hz		
01-P	3.50	3.00	0.216	0.439	57.00	40	28.50
02-P	3.00	2.50	0.210	0.524	13.00	50	18.34
03-P	2.10	1.80	0.223	0.606	27.00	70	15.23
04-P	2.80	2.50	0.222	0.622	18.00	300	3.66
05-P	2.80	2.40	0.212	0.487	9.10	500	0.80

Nota. Elaboración propia con información de asistencia técnica Enaex.

De igual manera de los datos obtenidos de las voladuras con iniciación electrónica realizadas en el área 3 000 se procederá a trabajar el modelo de Devine para campo lejano en los proyectos nombrados (PY-E) mostrados (tabla 3).

Según Peña (2019) “Entre las ventajas del uso de detonadores electrónicos en operaciones mineras una ventaja ha sido disminuir la dilución de mineral al generaron el cambio de sistema de iniciación para optimizar hasta un 93% la recuperación del mineral minado”.

Según Peralta (2019) “La precisión en el tiempo del detonador lleva a utilizar tiempos cortos, y que, por tal motivo, la colisión de las ondas generará efectivamente una mejora en la fragmentación; esto conduce ampliar las mallas de perforación para obtener los mismos resultados”.

Tabla 3

Datos de voladuras con iniciación electrónica área 3 000.

PY-E	MALLA		F.P	F.C	Hertz	Dist. de sismógrafo (m)E	PPV (mm/s)
	E	B	Kg/Ton	Kg/m^3	Hz		
01-E	2.40	2.08	0.177	0.447	6.90	40	19.75
02-E	2.40	2.08	0.121	0.307	5.70	50	16.18
03-E	2.40	2.09	0.165	0.417	26.00	70	12.90
04-E	3.50	3.00	0.084	0.205	13.00	300	2.10
05-E	3.50	3.00	0.085	0.207	28.00	500	3.10

Nota. Elaboración propia con información de asistencia técnica Enaex.

Como referencia existen otras actividades realizadas muy similares:

La comparación del sistema de iniciación pirotécnica versus sistema de iniciación electrónica, para el análisis de fragmentación, productividad y costos se tomaron datos del tajo Tapado Oeste y del tajo Yanacocha; información que permite determinar la efectividad del sistema de voladura.

La voladura con detonadores electrónicos dio mejores resultados que con pirotécnicos. (Cueva & Herrera. 2019)

Los datos del proyecto de fractura con plasma “plataforma de flotación” en el área 3000 los observamos en la (tablas 4 y 5).

Tabla 4

Datos de proyecto fractura con plasma en área 3000.

PY-PL	MALLA		F.C	Hertz	Dist. de sismógrafo (m)PL	PPV (mm/s)
	E	B	Kg/m^3	Hz		
109-PL	2.1	1.8	0.38	3.2	50	3.88

Nota. Elaboración propia con información de asistencia técnica Enaex.

Tabla 5

Consumo del proyecto de fractura.

Detalle	Total	Unidad
Capsula de plasma de 1.3 kg.	997.1	kg.
Cable	800	m.
Acumulador eléctrico	1	Und
Generador eléctrico	1	Und

Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

3.3. Diseño de los proyectos.

El diseño de carguío en los proyectos de voladura pirotécnico y electrónico se realiza acorde a los diseños de la empresa encargada del área, previa reunión en oficina y campo, para después ser notificado bajo documento “Protocolo de voladura” indicando los datos de la empresa encargada, ubicación, día, hora inicio de protocolo evacuación, hora de termino de protocolo de voladura, responsables y firmas en el documento para su ejecución.

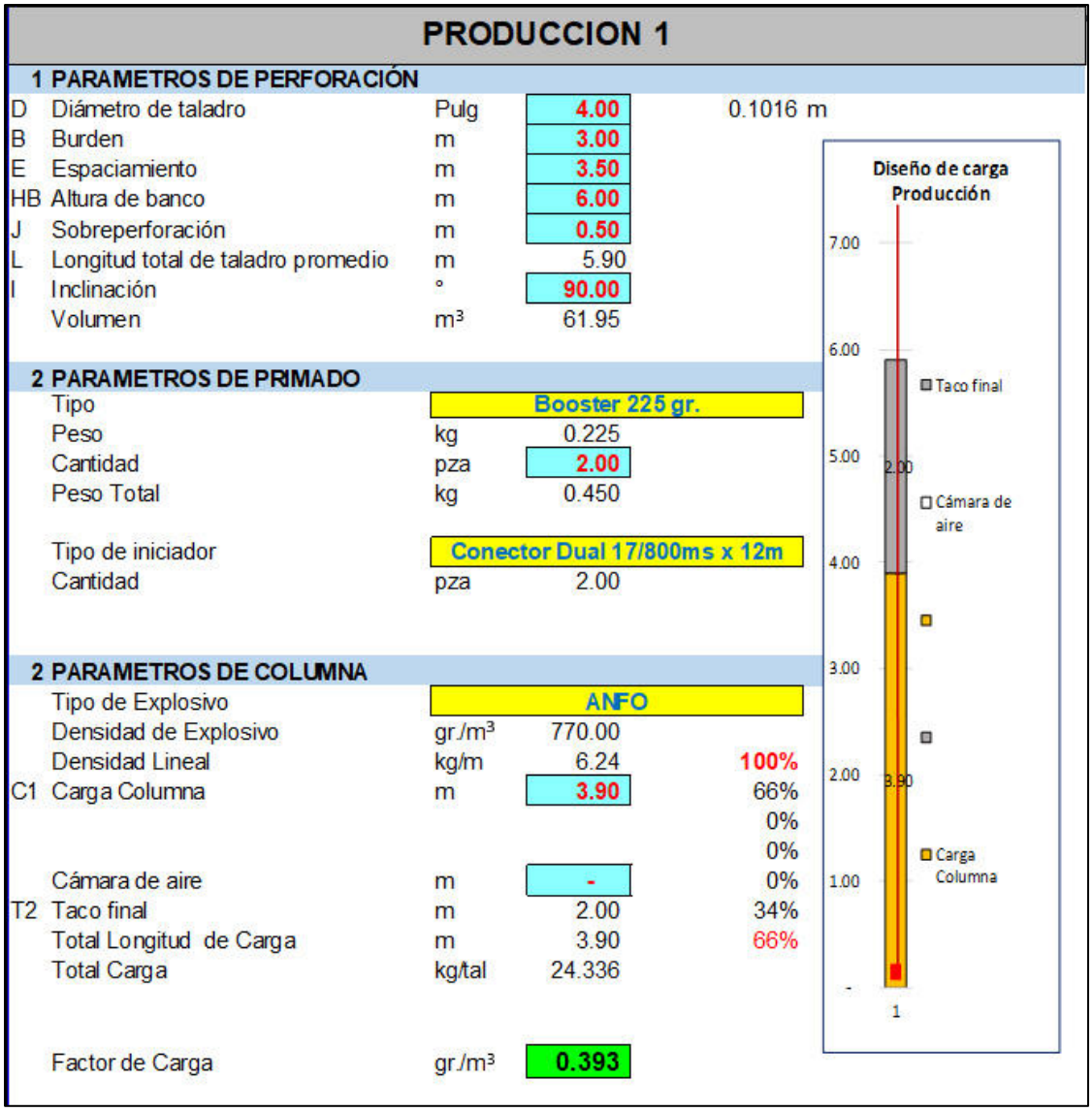
En este documento se entrega los datos del proyecto en cuanto a número de taladros, tipo de taladros cantidad por cada tipo de taladros, plano de ubicación, plano de amarre de malla, diámetro de los taladros, altura promedio de los taladros, burden, espaciamiento, cantidad de explosivo, volumen en metros cúbicos, factor de carga y diseño de carguío por los tipos de taladros mostrado en las (figuras 11, 12 y 13) del “proyecto piscina de emergencia plataforma de relaves”.

Con esta información el área de asistencia técnica realiza la simulación en software O-pitblast (figura 15) líneas de isotiempo, para simular el proceso de voladura, verificar el factor de carga, simular los tiempos de detonación, si hubiera

algún error el personal de asistencia técnica comunica al área de operaciones para realizar reajustes al diseño antes de su ejecución.

Figura 11

Diseño de carguío taladro de producción.

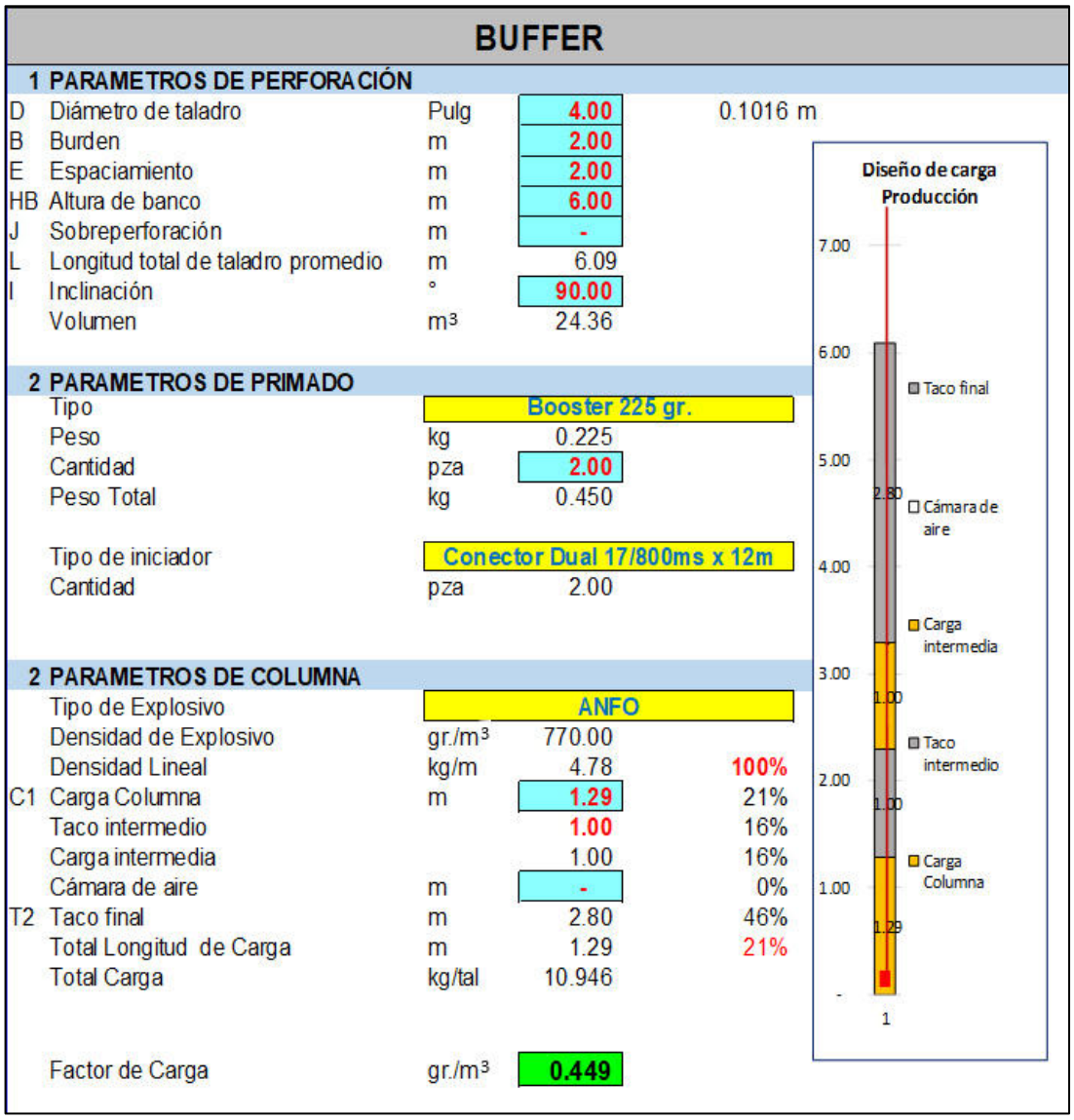


PRODUCCION 1				
1 PARAMETROS DE PERFORACIÓN				
D	Diámetro de taladro	Pulg	4.00	0.1016 m
B	Burden	m	3.00	
E	Espaciamiento	m	3.50	
HB	Altura de banco	m	6.00	
J	Sobreperforación	m	0.50	
L	Longitud total de taladro promedio	m	5.90	
I	Inclinación	°	90.00	
	Volumen	m³	61.95	
2 PARAMETROS DE PRIMADO				
	Tipo		Booster 225 gr.	
	Peso	kg	0.225	
	Cantidad	pza	2.00	
	Peso Total	kg	0.450	
	Tipo de iniciador		Conector Dual 17/800ms x 12m	
	Cantidad	pza	2.00	
2 PARAMETROS DE COLUMNA				
	Tipo de Explosivo		ANFO	
	Densidad de Explosivo	gr./m³	770.00	
	Densidad Lineal	kg/m	6.24	100%
C1	Carga Columna	m	3.90	66%
				0%
				0%
	Cámara de aire	m	-	0%
T2	Taco final	m	2.00	34%
	Total Longitud de Carga	m	3.90	66%
	Total Carga	kg/tal	24.336	
	Factor de Carga	gr./m³	0.393	

Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

Figura 12

Diseño de carguío - taladro buffer.



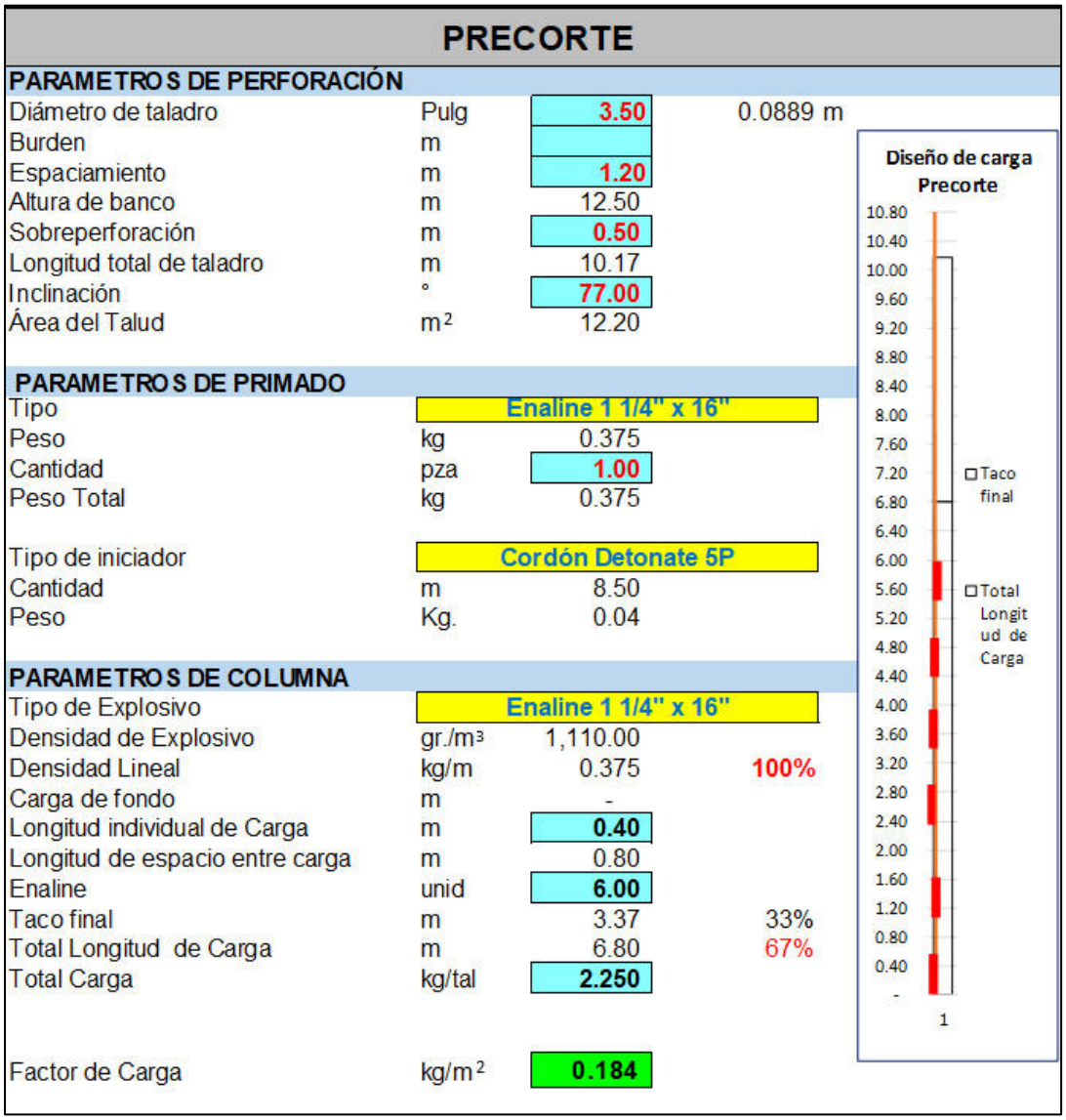
BUFFER

1	**PARAMETROS DE PERFORACIÓN**				
D	Diámetro de taladro	Pulg	4.00	0.1016 m	
B	Burden	m	2.00		
E	Espaciamiento	m	2.00		
HB	Altura de banco	m	6.00		
J	Sobreperforación	m	-		
L	Longitud total de taladro promedio	m	6.09		
I	Inclinación	°	90.00		
	Volumen	m³	24.36		
2	**PARAMETROS DE PRIMADO**				
	Tipo		Booster 225 gr.		
	Peso	kg	0.225		
	Cantidad	pza	2.00		
	Peso Total	kg	0.450		
	Tipo de iniciador		Conector Dual 17/800ms x 12m		
	Cantidad	pza	2.00		
2	**PARAMETROS DE COLUMNA**				
	Tipo de Explosivo		ANFO		
	Densidad de Explosivo	gr./m³	770.00		
	Densidad Lineal	kg/m	4.78	100%	
C1	Carga Columna	m	1.29	21%	
	Taco intermedio		1.00	16%	
	Carga intermedia		1.00	16%	
	Cámara de aire	m	-	0%	
T2	Taco final	m	2.80	46%	
	Total Longitud de Carga	m	1.29	21%	
	Total Carga	kg/tal	10.946		
	Factor de Carga	gr./m³	0.449		

Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

Figura 13

Diseño de carguío - taladro precorte.



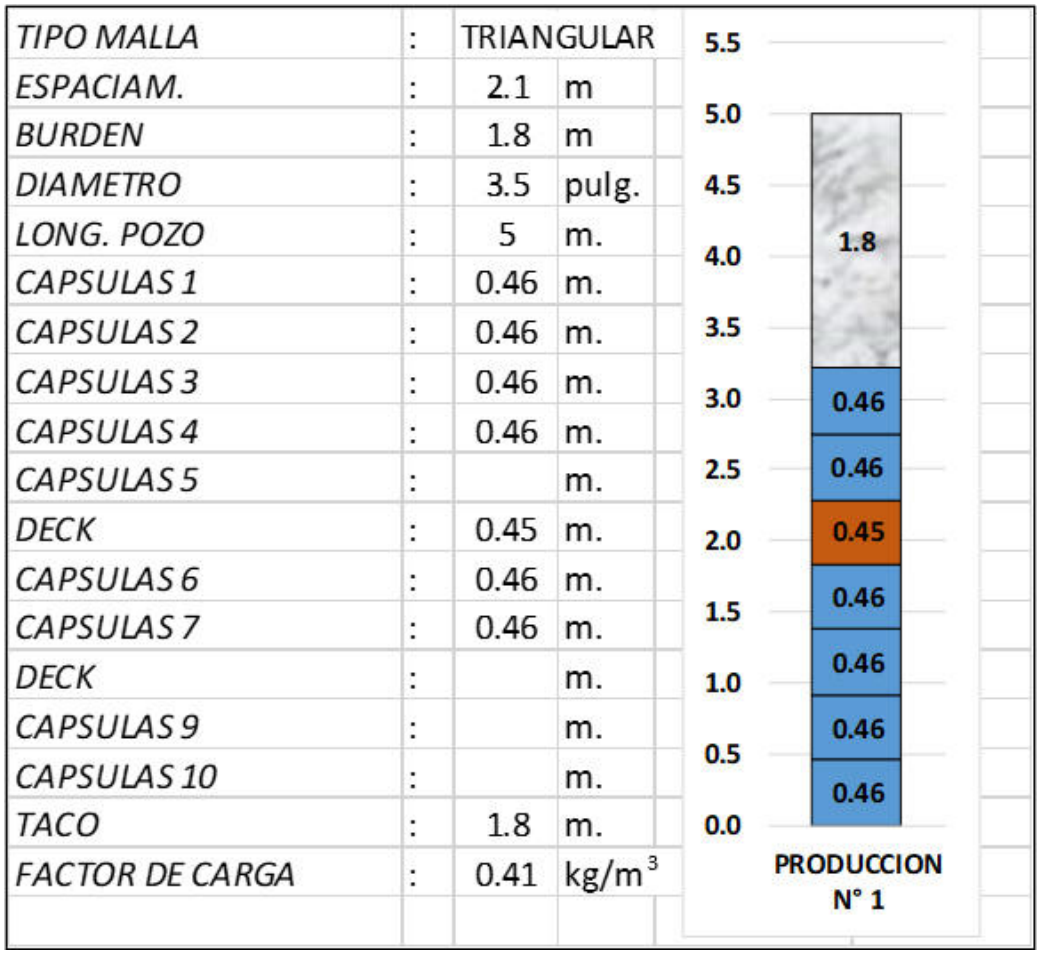
PRECORTE				
PARAMETROS DE PERFORACIÓN				
Diámetro de taladro	Pulg	3.50	0.0889 m	
Burden	m			
Espaciamiento	m	1.20		
Altura de banco	m	12.50		
Sobreperforación	m	0.50		
Longitud total de taladro	m	10.17		
Inclinación	°	77.00		
Área del Talud	m²	12.20		
PARAMETROS DE PRIMADO				
Tipo		Enaline 1 1/4" x 16"		
Peso	kg	0.375		
Cantidad	pza	1.00		
Peso Total	kg	0.375		
Tipo de iniciador		Cordón Detonate 5P		
Cantidad	m	8.50		
Peso	Kg.	0.04		
PARAMETROS DE COLUMNA				
Tipo de Explosivo		Enaline 1 1/4" x 16"		
Densidad de Explosivo	gr./m³	1,110.00		
Densidad Lineal	kg/m	0.375	100%	
Carga de fondo	m	-		
Longitud individual de Carga	m	0.40		
Longitud de espacio entre carga	m	0.80		
Enaline	unid	6.00		
Taco final	m	3.37	33%	
Total Longitud de Carga	m	6.80	67%	
Total Carga	kg/tal	2.250		
Factor de Carga	kg/m²	0.184		

Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

En el diseño de un taladro con plasma (figura 14) donde se detalla características como, tipo de malla, datos de un taladro de producción y su carguío con capsulas de plasma para el proyecto de fractura “Plataforma de flotación” del área 3 000 del proyecto. Parte de la diferencia es la conexión entre capsulas y separación muy similar a un precorte.

Figura 14

Diseño de carguío capsulas plasma - taladro producción.



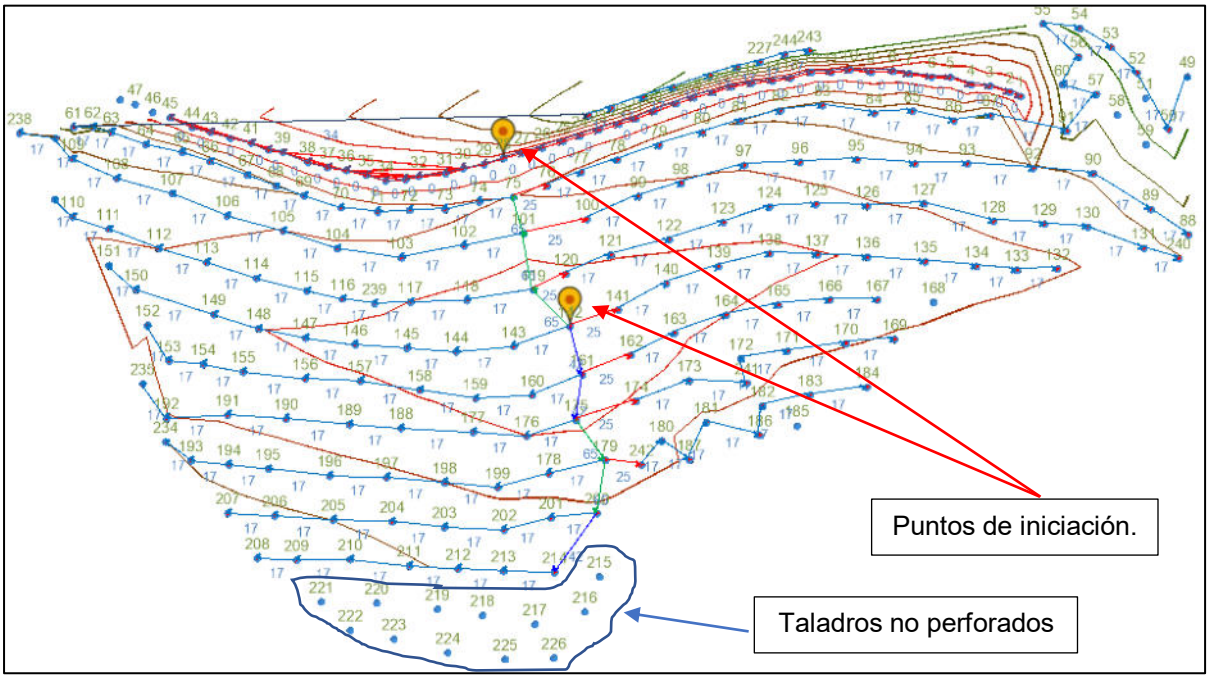
TIPO MALLA	:	TRIANGULAR	
ESPACIAM.	:	2.1	m
BURDEN	:	1.8	m
DIAMETRO	:	3.5	pulg.
LONG. POZO	:	5	m.
CAPSULAS 1	:	0.46	m.
CAPSULAS 2	:	0.46	m.
CAPSULAS 3	:	0.46	m.
CAPSULAS 4	:	0.46	m.
CAPSULAS 5	:		m.
DECK	:	0.45	m.
CAPSULAS 6	:	0.46	m.
CAPSULAS 7	:	0.46	m.
DECK	:		m.
CAPSULAS 9	:		m.
CAPSULAS 10	:		m.
TACO	:	1.8	m.
FACTOR DE CARGA	:	0.41	kg/m^3

Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

La simulación de un proyecto con iniciación pirotécnica (figura 15) con software O-pitblast donde se observa en la parte superior la mayor parte de líneas es provocada por el (precorte) que detona en un tiempo “cero”, las líneas rojas inferiores corresponden a los taladros de buffer y producción, las líneas de color azul representan los cordones de los faneles con un tiempo de retardo de 17 milisegundos. En la línea media que cruza de arriba hacia abajo por la mitad de la figura se encuentra la línea troncal con el punto de inicio representado por la marca señalada en la figura.

Figura 15

Simulación líneas de isotiempo proyecto pirotécnico.

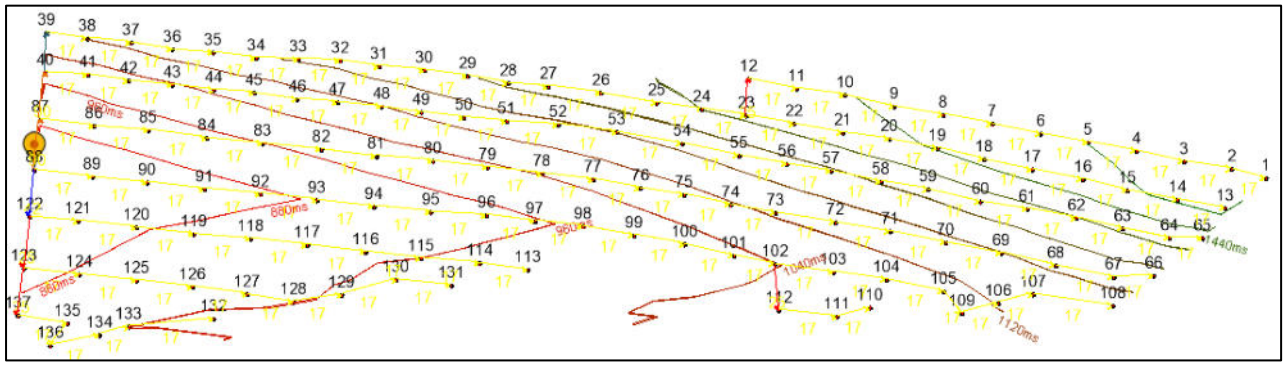


Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

La simulación y las líneas isotiempo de un proyecto de voladura con iniciación electrónica (figura 16), detalla en las líneas amarillas los tiempos de retardo en superficie y las líneas rojas los intervalos de tiempo después de la detonación en el fondo de los taladros, colocando los tiempos en milisegundos desde el taladro de inicio hasta los taladros más lejanos del proyecto.

Figura 16

Simulación líneas isotiempo de proyecto electrónico.

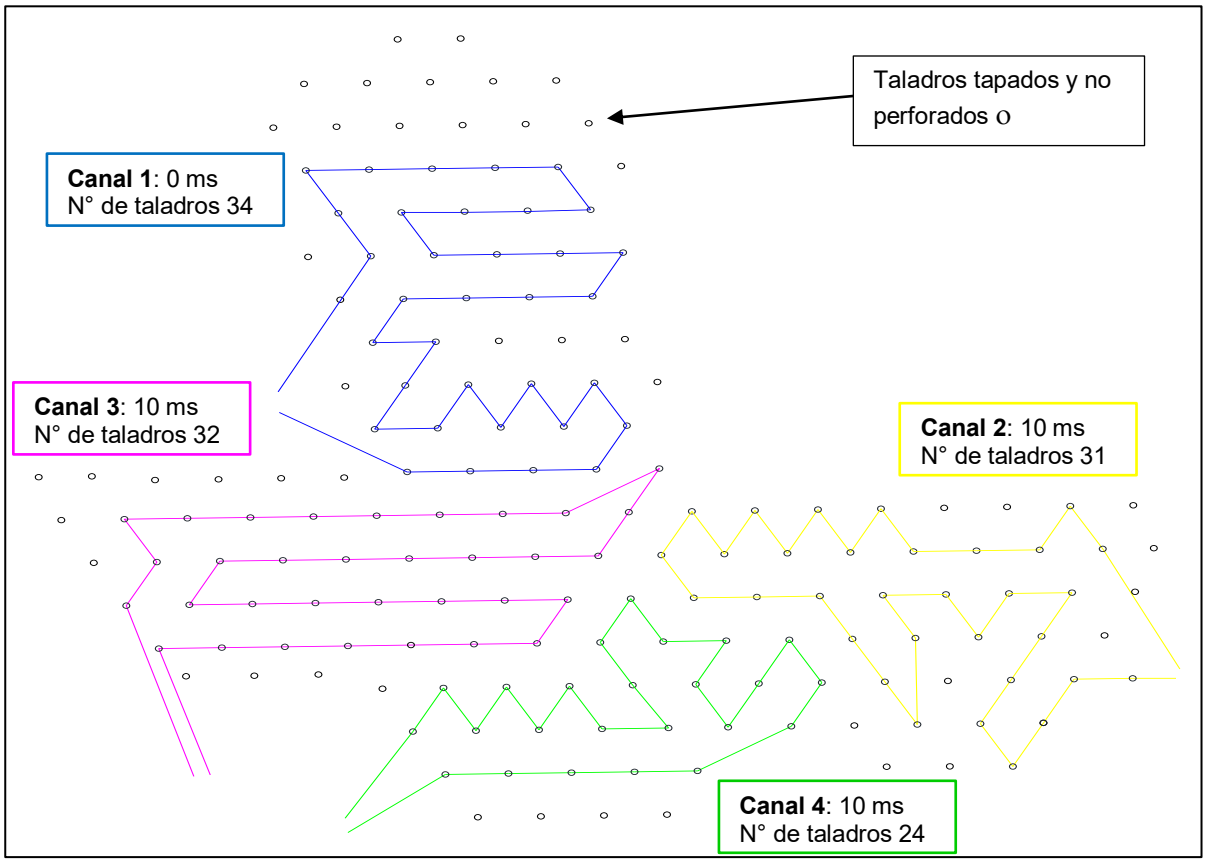


Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

Para el diseño de fractura con plasma dividido en 4 canales (figura 17) se representan por los colores graficados en el circuito de amarre, la iniciación del proyecto empieza por el canal 1 en un tiempo “cero”, después el tiempo de retardo entre los siguientes canales 2, 3 es de 10 milisegundos cada uno hasta llegar al canal final número 4. Con estos ejemplos podemos observar parte del comportamiento de los tiempos en software, por los márgenes de error entre los productos varían estos resultados en campo. Además de no siempre cumplirse la ubicación de todos los taladros en campo debido a factores como el humano, equipos o de campo que se presentan.

Figura 17

Diseño de proyecto de fractura.



Nota. Área de asistencia técnica Enaex.

CAPITULO IV

PRODUCTOS

Enaex es una empresa filial del grupo Sigdo Koppers. Cuenta con experiencia y trayectoria en el mercado de explosivos. A lo largo de su historia, la compañía ha logrado establecerse como el tercer productor de Nitrato de Amonio de baja densidad a nivel mundial y como el prestador de servicios integrales de fragmentación de roca para la minería más importante de Chile y Latinoamérica.

4.1. Materias primas.

4.1.1. Anfo.

El Nitrato de Amonio grado ANFO, es un producto prillado y poroso especial para uso en la fabricación de ANFO. Su baja densidad y alta porosidad produce una buena absorción de petróleo y elevada velocidad de detonación. Puede ser usado tanto en minería como en obras civiles.

Dada la baja densidad del Prillex® LD, un taladro se carga con menos masa del mismo que las otras marcas de Nitrato de Amonio disponibles en el mercado, lo que se compensa con la mayor velocidad de detonación que desarrolla el producto, obteniéndose como resultado una buena fragmentación de roca, sus características se muestran en la (tabla 6) siguiente.

Tabla 6

Ficha técnica de Anfo Premium.

Características Técnicas	Resultados	Unidad
Densidad vaciado	0.77 +/- 5%	g/cc
Velocidad de detonación	2.000 - 4.100	m/s
Presión de detonación mínima	28	Kbar
Energía mínima	3.818	KJ/Kg
Volumen de gases	1.050	L/Kg
Diámetro mínimo	1"	Pulgada
Resistencia al agua	Nula	Nula

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

4.2. Altos explosivos

4.2.1. ENALINE®.

Emulsión envasada de pequeño diámetro para precorte.. Emulsión explosiva envasada de diámetro pequeño, especial para trabajos de precorte en minería a cielo abierto. El producto se presenta envasado en mangas continuas de polietileno, engrapadas cada 16 pulgadas. En toda su longitud tiene adosado un cordón detonante de 10 g/m reforzado que produce una iniciación lateral y simultánea, los tipos, dimensiones y características se presentan en las (tablas 7 y 8) siguientes.

Tabla 7

Caja dimensiones de Enaline.

Tamaño en (pulgadas)	Unidades por caja	Peso unidad (Kg)	Peso neto caja (Kg)
1 1/4 x 8	4	4.65	18.60
1 1/4 x 12	2	10.00	20.00
1 1/2 x 10	2	11.90	23.80
1 1/2 x 11	1	13.00	13.00
1 1/2 x 12	1	14.50	14.50
1 1/2 x 16	1	19.60	19.60
1 3/4 x 15	1	25.00	25.00
2 x 8	1	18.33	18.30

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Tabla 8

Ficha técnica de Enaline.

Características Técnicas	Resultados	Unidad
Densidad	1 - 1.2	g/cc
Velocidad de detonación mínima	3500	m/s
Velocidad de detonación mínima con cordón detonante	6000	m/s
Presión de detonación	69	Kbar
Energía	3371	KJ/Kg
Resistencia al agua	Excelente	Excelente
Volumen de gases	997	L/Kg
Potencia relativa al ANFO	0.89	Peso
	1.27	Volumen

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

4.2.2. EMULTEX® PG.

Emulsión envasada de diámetro intermedio, insensible al fulminante Nº8, especialmente diseñada para cargar en diámetros intermedios en faenas con abundante agua donde no es posible desaguar o cargar en forma mecanizada, sus tipos, dimensiones, características se muestran en las (tablas 9 y 10) a continuación.

Tabla 9

Caja de Emultex PG.

Tamaño en (pulgadas)	Unidades por caja	Peso unidad (Kg)	Peso neto caja (Kg)
2 1/2 x 16	12	1.597	19.2
3 x 8	20	1.150	23.0
3 x 16	10	2.300	23.0
3 1/2 x 16	7	3.125	21.9
3 1/2 x 24	4	4.700	18.8

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Tabla 10

Ficha técnica de Emultex PG.

Características Técnicas	Resultados	Unidades
Densidad	1.22 +/- 3	g/cc
Velocidad de detonación mínima	4.200 - 5.500	m/s
Presión de detonación	76	Kbar
Energía	3.370	KJ/Kg
Resistencia al agua	Excelente	Excelente
Volumen de gases	997	L/Kg
Potencia relativa al ANFO	0.89	Peso
	1.39	Volumen

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

4.2.3. APD Booster.

Los iniciadores son una carga explosiva de pentolita (mezcla de TNT y PETN), de alta potencia y gran seguridad, para la iniciación de agentes de voladura. Su principal propósito es proveer un impulso energético suficiente para lograr rápidamente una óptima velocidad de detonación de la columna explosiva.

Su especial envase plástico, protege la mezcla explosiva, permitiéndole ser insensible a los golpes o roces, así como tener una mayor resistencia a la acción del agua presente en algunas perforaciones, los tipos de gramaje y características en las (tablas 11 y 12).

Tabla 11

Ficha técnica de APD Booster.

Características Técnicas	Resultados	Unidad
Densidad	1.62 +/- 5 %	g/cc
Velocidad de detonación típica	7.200 +/- 5 %	m/s
Velocidad de detonación mínima	6.4	m/s
Presión de detonación mínima	210	Kbar
Energía mínima	5.500	KJ/Kg
Resistencia al agua	Excelente	Excelente
Volumen de gases mínima	690	L/Kg
Potencia relativa al ANFO	1.5	Peso
	3.0	Volumen

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Tabla 12

Tipos de APD Booster caja.

Nombre Producto	Peso Unitario (gr)	Dimensión Unitaria		Unidades por caja	Peso neto caja (Kg)
		Largo (mm)	Diámetro (mm)		
X-Booster 150	150	129,7	37,7	96	14,4
X-Booster 225	225	129,3	43,7	72	16,2
X-Booster 450	450	129,3	59,1	36	16,2
X-Booster 900	900	129,7	82,7	18	16,2

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

4.3. Sistemas de iniciación.

4.3.1. Detonador no eléctrico dual P.

Viene a ser un sistema de iniciación de columnas explosivas con doble detonador para ser usado en minería subterránea, minería superficial y obras civiles, que permite efectuar “voladuras silenciosas”, toda vez que se deja de usar (cordón detonante), componentes y datos de ficha técnica en la (tabla 13) y en la (figura 18).

- Retardo de profundidad.
- Tubo de choque (tricapa), contiene una sustancia reactiva que garantiza la transmisión de una onda de choque a una velocidad de 2,000 m/s.
- Retardo de superficie, éste está diseñado para activar o iniciar máximo a 6 tubos de choque.
- Conector de plástico tipo (pico de loro), éste está diseñado para albergar máximo a 6 tubos de choque.

- Etiqueta.

Tabla 13

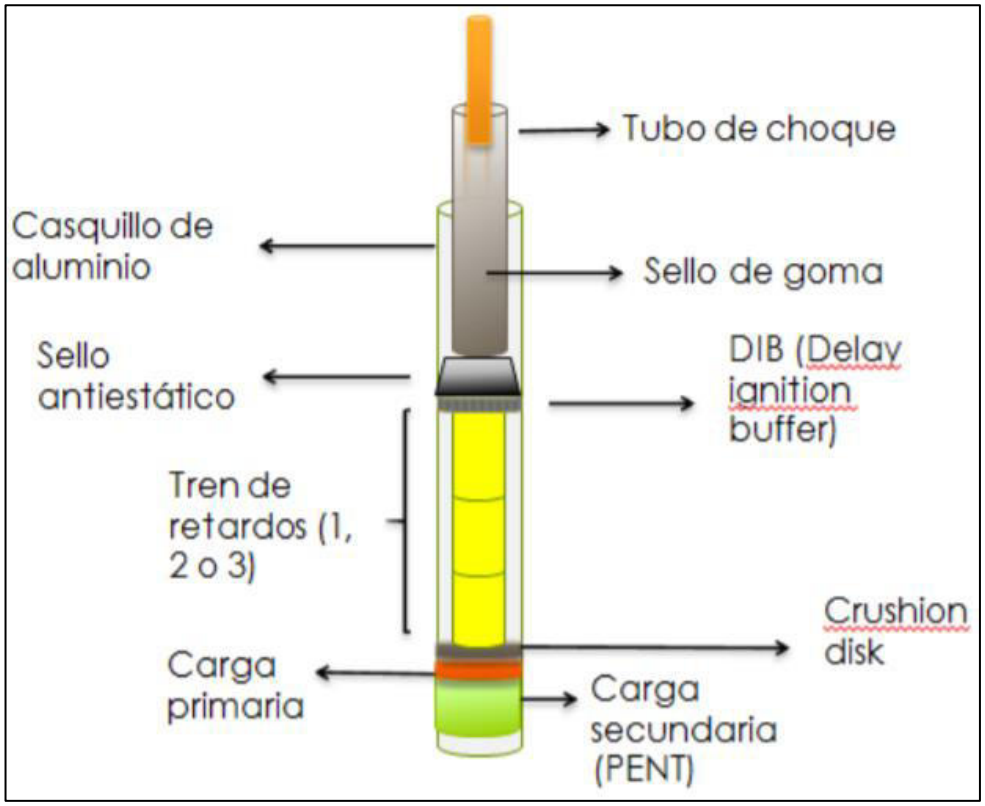
Ficha técnica de Detonador no eléctrico dual P.

Características Técnicas		
Fulminantes	Superficie	Profundidad
Diámetro (mm)	6.5	7.4
Longitud (mm)	42	66
Prueba de Esopo Diámetro de perforación (mm)	6	10
Volumen Traulz (cc)	18	23
Resistencia al impacto 2 Kg/1m	No detona	No detona

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 18

Detonador no electrónico composición.



Nota. Tomado de Manual de Tronadura Enaex S.A. (2010).

4.3.2. Detonador no eléctrico SP.

Es un sistema de iniciación que se usa para retardar la salida secuencial de las columnas explosivas, mediante su conexión al DNEDP, componentes y ficha técnica en la (tabla 14).

- Retardo de superficie, éste está diseñado para activar o iniciar máximo a 6 tubos de choque.
- Tubo de choque (tricapa), contiene una sustancia reactiva que garantiza la transmisión de una onda de choque a una velocidad de 2,000 m/s.
- Conector de plástico tipo (pico de loro), éste está diseñado para albergar máximo a 6 tubos de choque.
- Etiqueta.

Tabla 14

Ficha técnica Detonador no eléctrico SP.

Características Técnicas	Resultados
Diámetro (mm)	6.5
Longitud (mm)	42
Volumen Trauzl (cc)	18
Resistencia al impacto	No detona

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

4.3.3. Detonador no Eléctrico LD.

Es un iniciador no-eléctrico, que está constituido por un tubo de choque de la longitud requerida por el cliente, que puede ser de 100, 200, 300, 400, 500, 600 ó 700 m, un detonador N° 8, fijado en uno de sus extremos, el que se encuentra

alojado dentro de un block de plástico, que puede albergar hasta 6 segmentos de tubo de choque y un sello ultrasónico en otro de sus extremos para ser insertado para su iniciación dentro de un arrancador electrónico o en un mortero de activación convencional, componentes y ficha técnica en la (tabla 15).

- Retardo de superficie.
- Tubo de choque (tricapa), contiene una sustancia reactiva que garantiza la transmisión de una onda de choque a una velocidad de 2,000 m/s.
- Conector de plástico tipo (pico de loro). éste está diseñado para albergar máximo a 6 tubos de choque.
- Etiqueta.

Tabla 15

Ficha técnica Detonador no eléctrico LD.

DEL DETONADOR		
Fulminantes	Superficie	Profundidad
Diámetro (mm)	6.5	6.5
Longitud (mm)	42	47
Prueba de Esopo diámetro de perforación (mm)	6	8
Volumen Trauzl (cc)	18	23
Resistencia al impacto-2 Kg/1m	No detona	No detona
TUBO DE CHOQUE		
Material	Termoplástico tricapa	
Diámetro (mm)	3	
Longitud (mm)	A solicitud del cliente	
color	Amarillo	
Resistencia a la tracción (kg-fuerza)	16	
Velocidad de onda (m/s)	2 000	

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

4.3.4. Detonador Electrónico Daveytronic.

La alta precisión y confiabilidad del detonador Daveytronic® SP mejoran significativamente el desempeño de la voladura:

- Uniformidad del material y fragmentación.
- Control de la pila (Dilución).
- Control de vibración.

Puede controlar de forma remota una red de varios controladores de explosión ubicados en diferentes áreas de la mina para disparar varias voladuras simultáneamente desde una ubicación central. Synchroblast™: Hasta 4500 detonadores en un solo evento.

Multiblast: Hasta 5 eventos en diferentes ubicaciones de 1500 detonadores a cada uno, ficha técnica en la (tabla 16) y composición en la (figura 19).

Tabla 16

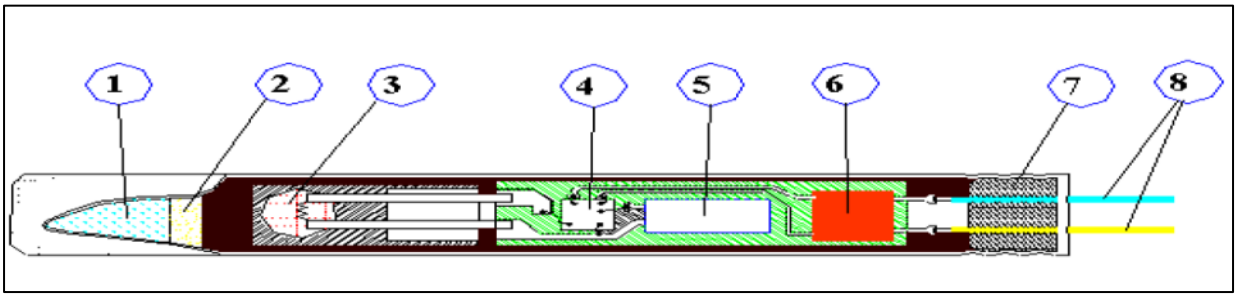
Ficha técnica Daveytronic SP.

Características técnicas	Descripción
Resistencia a la descarga electrostática.	Conforme con la norma EN 13763-13 (clases II) 30kV / 3500 pF
Resistencia a RF.	Conforma con la norma EN 13763-27 Hasta 30 V / m de ancho de banda de 80 MHz a 2 GHz
Detonador material de la capsula.	Aluminio o Cobre (condiciones agresivas
Carga base.	800 mg de PETN
Carga primaria.	Azida de Plomo 200 mg
Material del cable.	HD: ø=0.5 mm acero - Rojo PP STD: ø=0.4 mm acero - Naranja PE Doblado: ø=0.5 mm acero - Rosado PE
Material del conector.	Polipropileno (PP) - Gel de aislamiento eléctrico de silicona - hydrocarbure compatible

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 19

Detonador electrónico composición.



Nota. Tomado de Manual de Tronadura Enaex S.A. (2010).

1. Cargas base (PETN).
2. Carga primaria (Azida PB).
3. Ampolla pirotécnica con resistencia.
4. Circuito integrado (Chip).
5. Condensador.
6. Circuito de protección sobrevoltaje
7. Tapón antiestático.
8. Cables eléctricos.

4.4. Plasma.

El Plasma es una mezcla de sales metálicas de expansión rápida, capaz de iniciar una reacción termoquímica al suministrarle una chispa de alto voltaje en un espacio confinado.

Plasma 4TH® del grupo Enaex corresponde a una mezcla de sales y polvos metálicos de expansión rápida sin componentes explosivos, dando como resultado un producto de características innovadoras (figura 17) en comparación a la fractura de roca convencional.

¿Cómo funciona? La mezcla de sales metálicas se debe encontrar confinada, al aplicar una chispa eléctrica de alto voltaje es ahí que se genera una reacción termoquímica generando rápidamente temperaturas muy elevadas y energía expansiva por las altísimas presiones. Cuando el espacio donde se realiza la expansión se abre (fractura), la energía expansiva se reduce abruptamente y termina su trabajo.

Tabla 17

Ficha técnica de Plasma.

Características técnicas	Descripción
Aspecto	Manga plástica
Iniciación	Si* integrado: 1 o 2 resistencias eléctricas
Duración máxima	2 años
Precaución	Producto altamente higroscópico
Volumen gaseoso (L/Kg)	55
Densidad	0.6 a 1.4 gr/cc
Gases	Óxido de reducción, N^2
	*Si: sistema de Iniciación

Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

CAPITULO V

RESULTADOS

Para llegar a los siguientes resultados en el trabajo presentado, se trazaron los siguientes objetivos basados en el criterio de confrontar los métodos descritos y la prueba del no explosivo plasma.

5.1. Objetivos.

5.1.1. Objetivo General.

Demostrar el mejor resultado de los métodos de iniciación pirotécnico y electrónica en los trabajos realizados, además de exponer los trabajos de fractura con plasma para la reducción de vibraciones.

5.1.2. Objetivo Específico.

- Determinar el mejor método de iniciación electrónica o pirotécnica.
- Reducir la vibración con plasma en puntos críticos.

5.2. Resultados de iniciación pirotécnica y electrónica.

El presente informe tiene como fin comparar los métodos de iniciación durante los trabajos realizados, se recopilo información de los resultados en las voladuras con iniciación electrónica en el área 3 000 (plantas) donde se ejecutaron las labores de realización de plataformas como garita, molibdeno y flotación, movimiento de tierra masivo, consolidación de pozas, apertura de caminos en distintas progresivas como camino planta a mina, interior planta mina, consolidación de canal de coronación, consolidación de alcantarilla AN entre otras labores; las voladuras con iniciación pirotécnica en el área 4 000 (presa de relaves), se realizó los trabajos de plataformas

Salas, Ssee, consolidación de zona de alcantarillas, pozas; apertura de caminos en distintas progresivas del proyecto como camino operación dique de arranque, torres de captación arranque, piscina drenes – caseta de bombeo y zanja corta fuga, con toda la información obtenida se generó un modelo de Devine de campo lejano, los datos de los registros son los mostrados en las (tablas 18 y 19) a continuación.

Tabla 18

Resultados de voladuras pirotécnicas en área 4 000.

Proyecto inic. Pirotécnico	Desplaz. pico a pto monitoreo	PPV (mm/s)	Anfo (Kg)	Distancia a sismógrafo (m)	Distancia escalar $D/(Q^{1/2})$
01	0.301	28.50	3 100	40	0.72
02	0.122	18.34	1 718	50	1.21
03	0.488	15.23	1 400	70	1.87
04	0.194	3.66	3 000	300	5.48
05	0.157	0.90	1 450	500	13.13

Nota. Elaboración propia con información de asistencia técnica Enaex.

Tabla 19

Resultados de voladuras electrónicas en área 3 000.

Proyecto Ini. Electrónico	Desplaz. pico a pto monitoreo	PPV (mm/s)	Anfo (Kg)	Distancia a sismógrafo (m)	Distancia escalar $D/(Q^{1/2})$
01	0.0615	19.75	2 975	40	0.73
02	0.5060	16.18	2 337	50	1.03
03	0.0933	12.90	1 450	70	1.84
04	0.0782	2.10	2 975	300	5.50
05	0.0465	2.40	1 775	500	11.87

Nota. Elaboración propia con información de asistencia técnica Enaex.

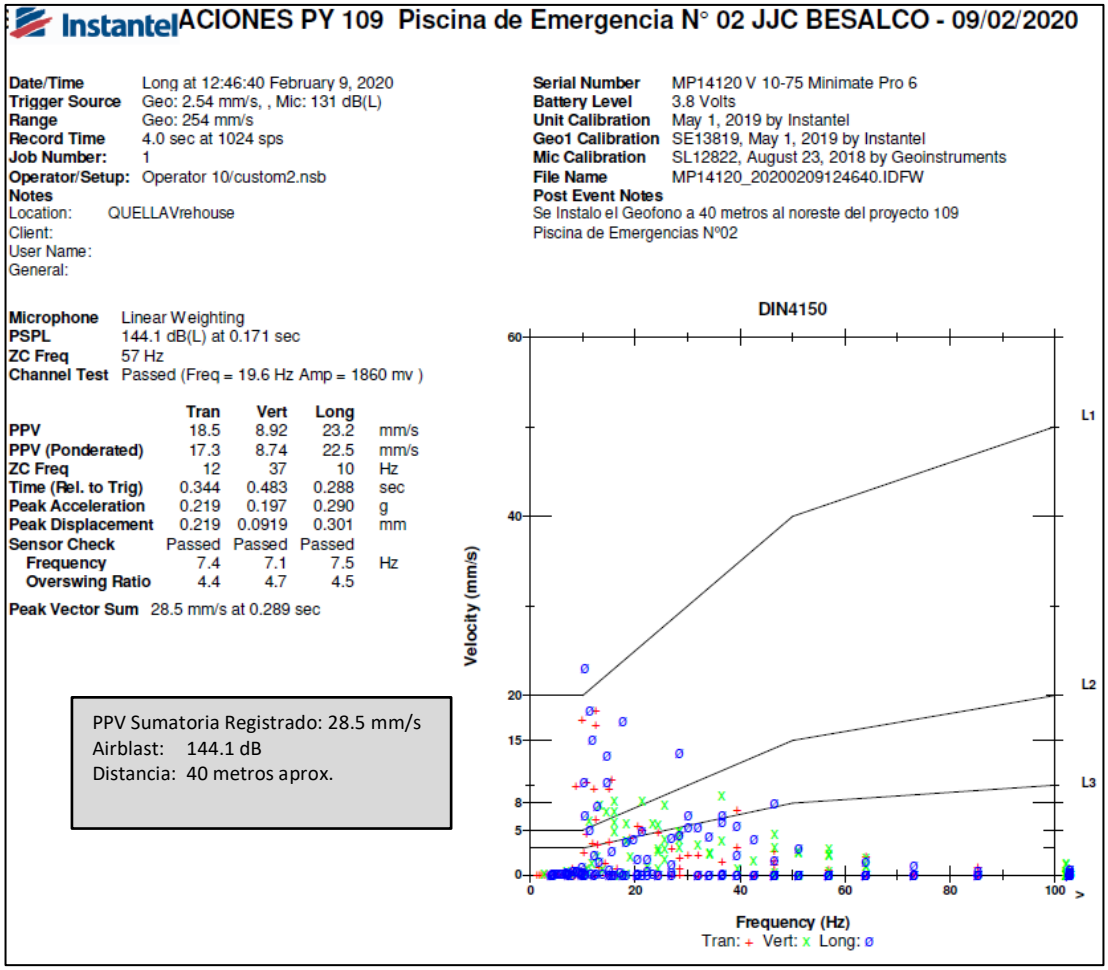
Como una comparación de las voladuras se muestran los registros de ambos métodos a una misma distancia de 40 metros al punto de monitoreo, empezando

por la (figura 20) que muestra el registro por iniciación pirotécnica, la (figura 21) muestra el análisis de las vibraciones captadas por el equipo sismógrafo.

El registro de la voladura con iniciación electrónica (figura 22) la cual fue tomada a 40 metros a la zona de la voladura y el análisis de sus vibraciones en la (figura 23). Comparando los valores observamos la diferencia de 8.75 (mm/s) PPV de diferencia, entre la iniciación electrónica a la pirotécnica.

Figura 20

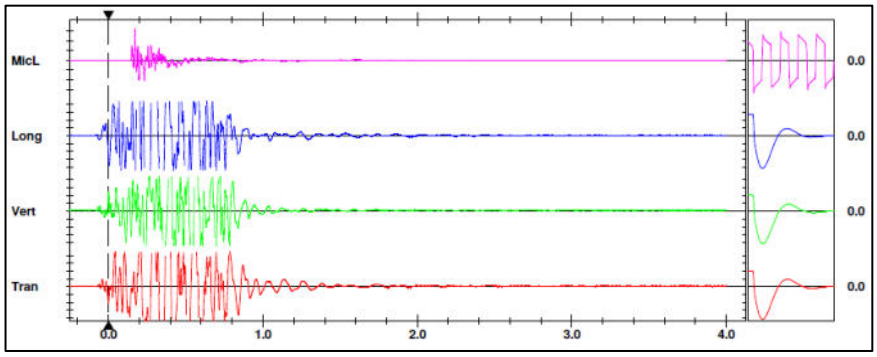
Registro de vibraciones de proyecto 01 pirotécnico.



Nota. Data de asistencia técnica Enaex

Figura 21

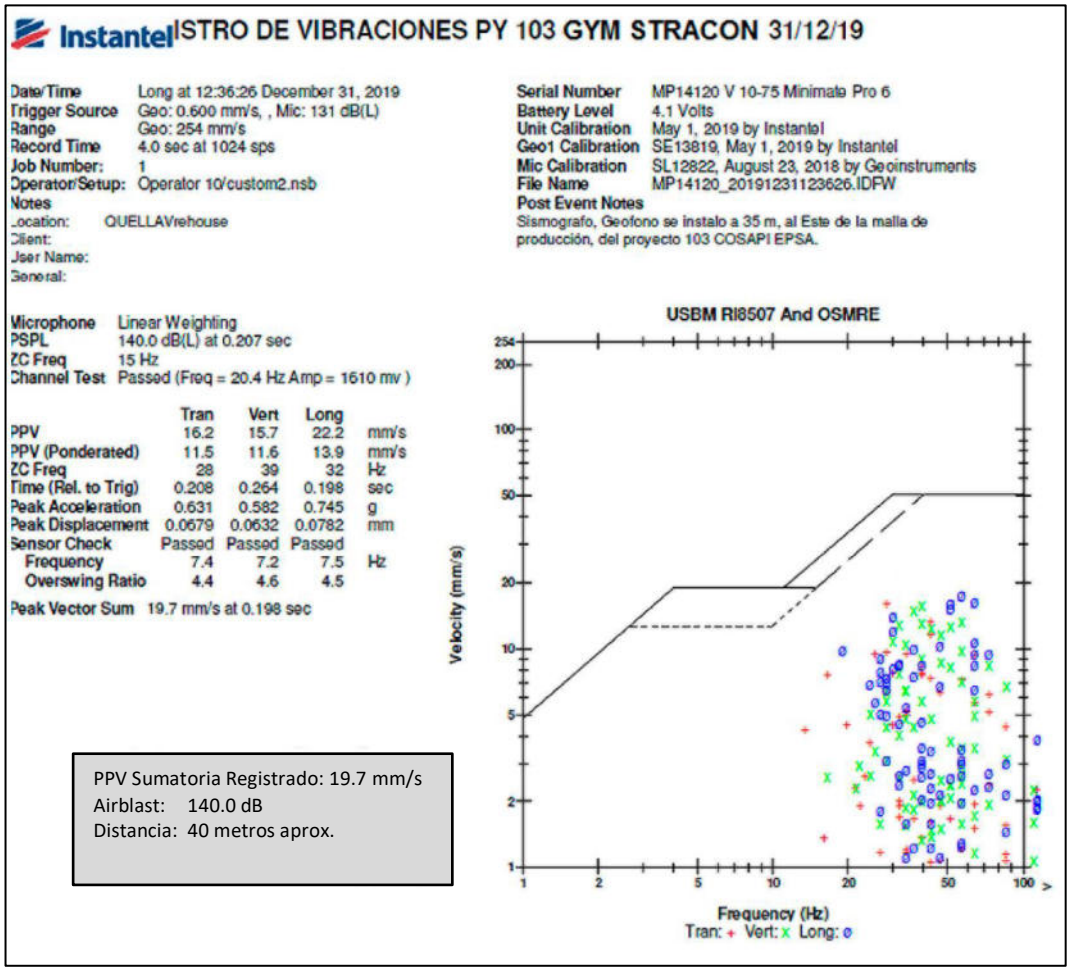
Análisis de vibraciones proyecto iniciación pirotécnica.



Nota. Data de asistencia técnica Enaex

Figura 22

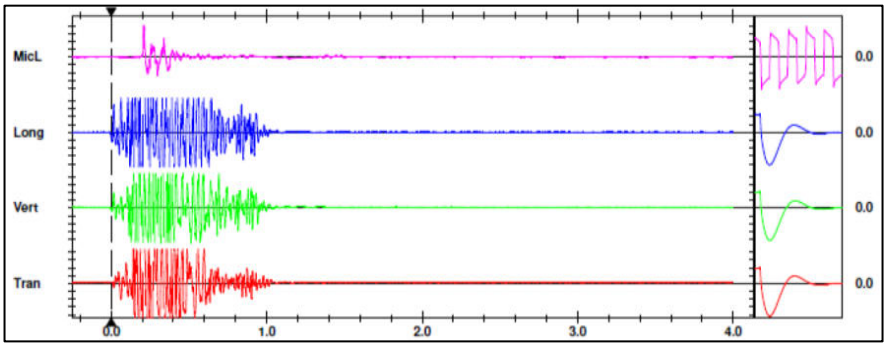
Registro de vibraciones de proyecto 01 electrónico.



Nota. Data de asistencia técnica Enaex.

Figura 23

Análisis de las vibraciones proyecto de iniciación electrónica.



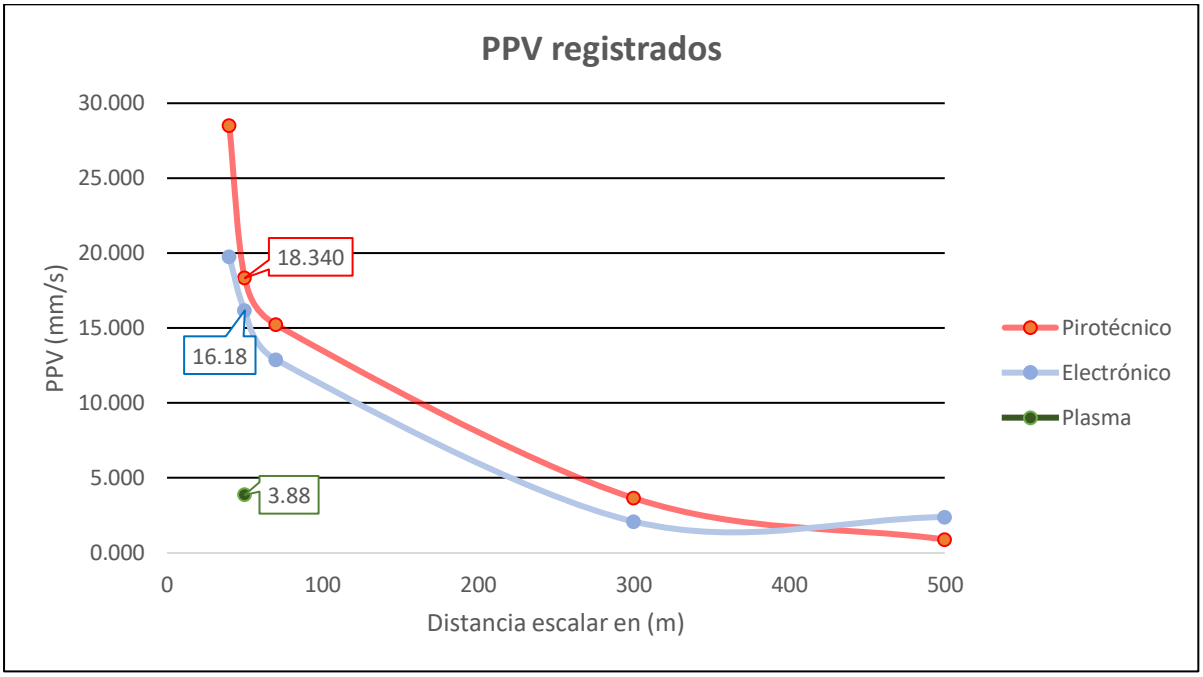
Nota. Data de asistencia técnica Enaex

La comparación de las vibraciones de ambos procesos muestra su comportamiento en los primeros segundos de iniciada la voladura (figuras 21 y 23) de tiempo 0 ha pasado el primer segundo.

La comparación de las PPV en (mm/s) entre la iniciación pirotécnica del área 4 000, la iniciación electrónica del área 3 000 (figura 24) junto con el plasma que también fue llevado a cabo en el área 3 000 en la plataforma de flotación, cuyos registros se tomaron a distintas distancias entre proyecto y proyecto, las mediciones tomadas con el equipo sismógrafo se grafican, como comparación entre los tres métodos los registros analizados son a 50 metros al punto de monitoreo.

Figura 24

Comparación de PPV entre iniciaciones.



Nota. Elaboración propia con información de asistencia técnica Enaex.

La comparación de los resultados por iniciación (figura 25), donde se aprecia la iniciación electrónica representada por el color naranja y la iniciación pirotécnica de color azul, muestran que la iniciación electrónica genera mucha menor velocidad pico partícula a una misma distancia, mientras más alejada esta disminuye,

5.2.1. Modelo de Devine.

Al realizar voladuras se genera una intensidad de vibración para ello se realizó un registro de monitoreo de vibraciones en campo lejano, con los dos tipos de iniciación nombrados a una misma distancia de medición, donde los compararemos a través de la Velocidad Pico Partícula (VPP), Cantidad de carga

explosiva (Q) y la distancia de la voladura al punto de monitoreo (D) con la información recopilada se realizará un análisis adecuado al modelo de Devine.

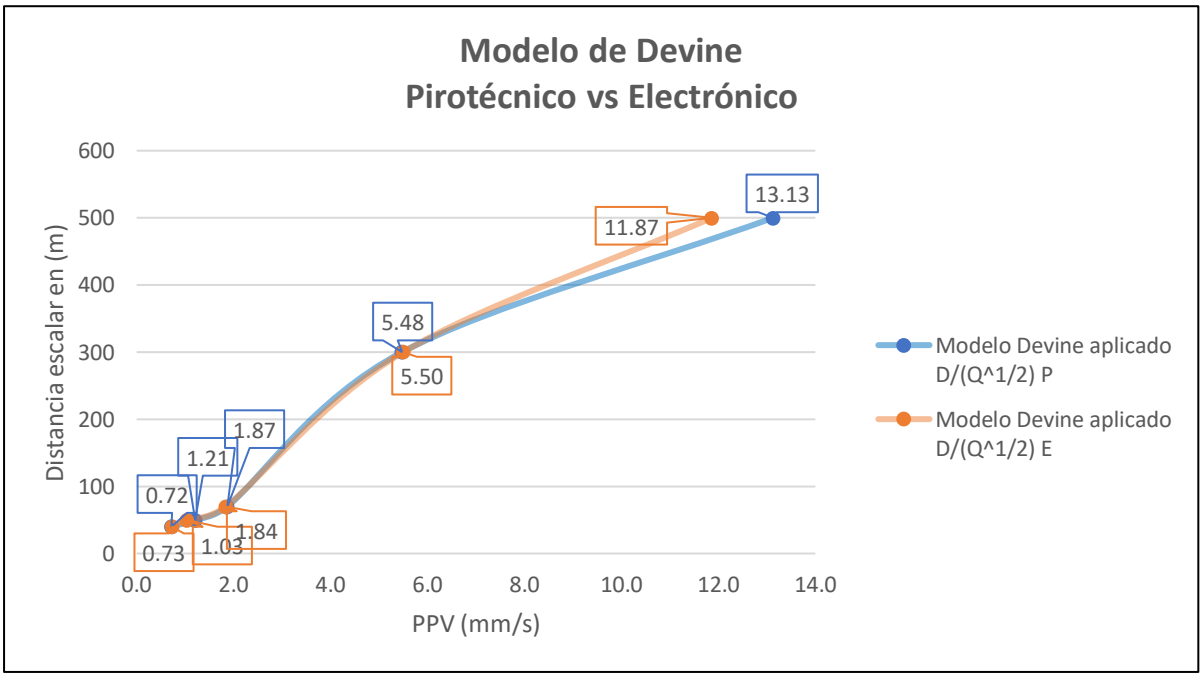
Donde se utiliza lo siguiente:

- PPV : Velocidad pico partícula (mm/s).
- D : Distancia escalar en (m).
- Q : Cantidad de carga explosiva en (Kg).

$$PPV = \frac{D}{Q^2}$$

Figura 25

Comparación de iniciaciones por modelo de Devine.



Nota. Elaboración propia con información de asistencia técnica Enaex.

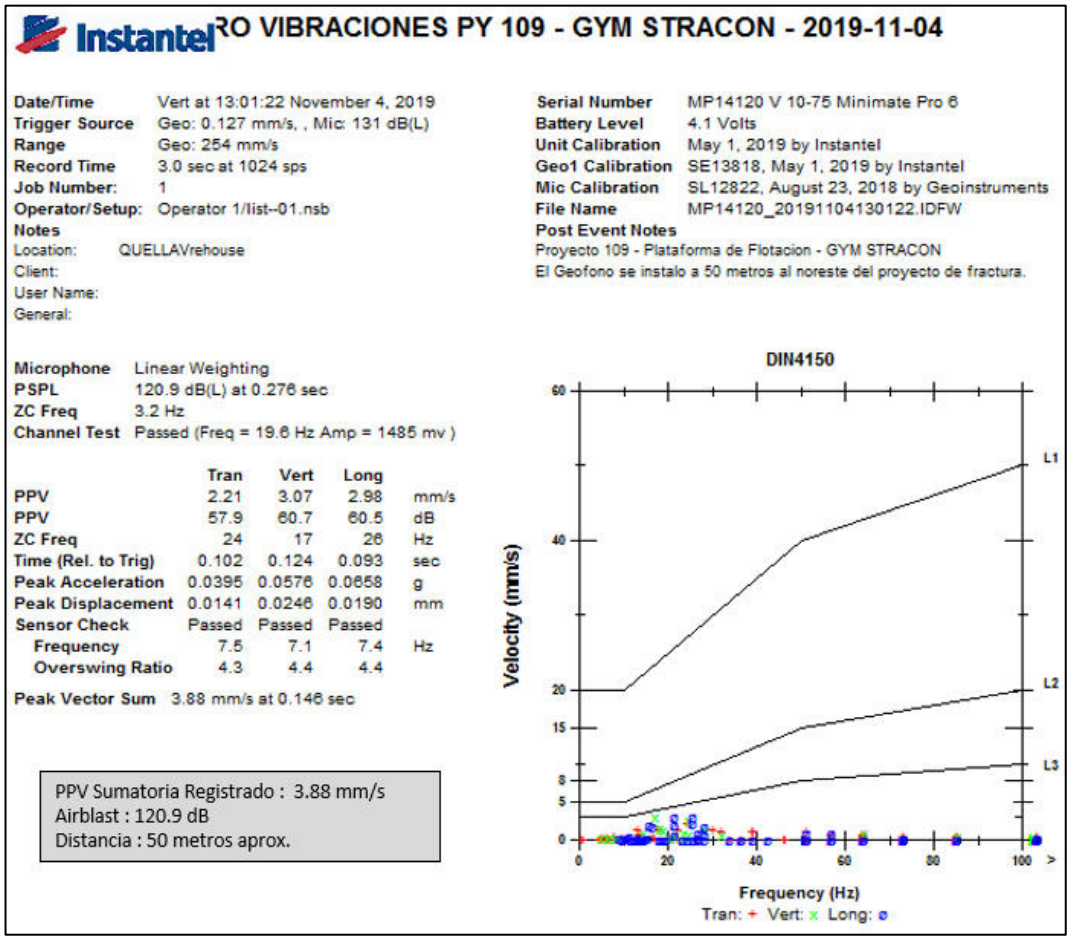
5.3. Resultados con plasma.

Los trabajos realizados de prueba de fractura con plasma en la ubicación de la Plataforma de flotación del área 3 000 se realizaron como parte de las pruebas desarrolladas por la empresa Enaex, para la remoción de material en una zona que presentaba dificultad por tener otras labores desarrollándose al mismo tiempo, y presentar dificultad para el uso de explosivos, por ello se realizó el trabajo a través de la fractura con plasma, en este trabajo se registró los siguientes resultados en el equipo de medición (figuras 26 y 27), donde podemos apreciar las gráficas de las vibraciones generadas en el proyecto de fractura.

Los datos registrados e información tomada del proyecto de fractura “plataforma de flotación” (tabla 20).

Figura 26

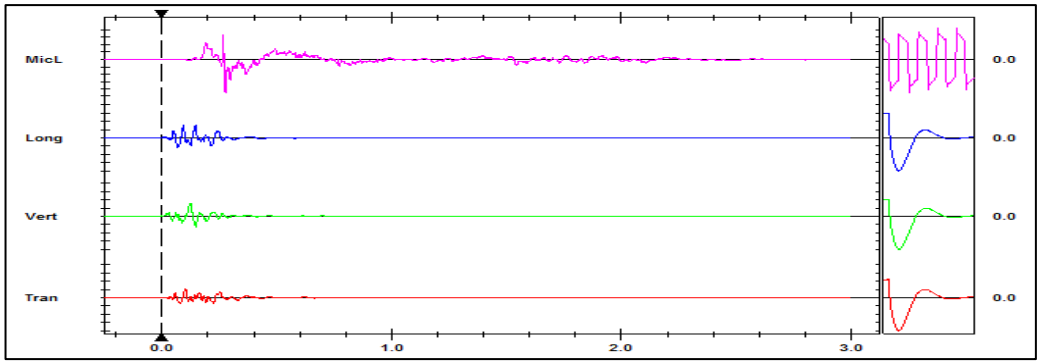
Registro del proyecto de fractura por plasma.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 27

Análisis de vibraciones en fractura por plasma.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Tabla 20

Resultados del proyecto de fractura con Plasma.

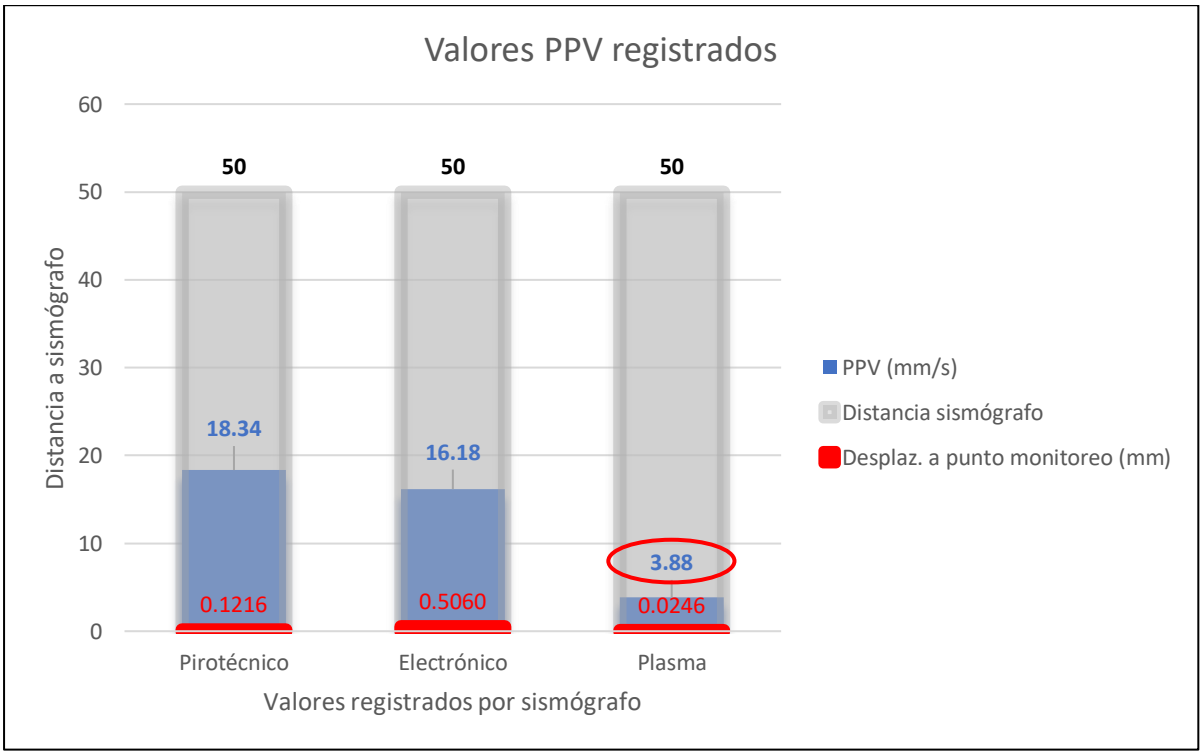
Proyecto de fractura con plasma	PPV	Dist. de sismógrafo	Desplaz. pico a pto monitoreo	Cant. PLASMA
	mm/s	m	mm.	Kg.
109	3.88	50	0.0246	997.1

Nota. Elaboración propia con información de asistencia técnica Enaex.

La comparación de los PPV (figura 28), desplazamiento pico a punto de monitoreo, entre las voladuras por iniciación pirotécnica, electrónica y la fractura con plasma ejecutadas por la empresa Enaex.

Figura 28

Grafica de comparación de voladuras convencionales y fractura con plasma.



Nota. Elaboración propia con información de asistencia técnica Enaex.

Los valores registrados por el sismógrafo a la misma distancia de 50 metros entre los métodos convencionales de voladura y la fractura con plasma evidencian la diferencia. Donde el monitoreo de vibraciones en la fractura con plasma obtuvo una PPV de **3.88 mm/s** en **0.146 segundos** y un air blast de **120.9 dB** con una frecuencia de **3.2 Hz**, dichos valores se encuentran por debajo del umbral de daño "Tipo III" según la Norma DIN 4150 (tabla 21). Estos resultados dan mayor seguridad al no ser tan agresivos como las voladuras usuales y poseen un mejor control.

Tabla 21

Tipos de edificaciones y valores de "Norma alemana DIN 4150".

	Tipo de edificación	FRECUENCIA (Hz)		
		< 10Hz	10 - 50 Hz	50 -100 Hz
		Velocidad (mm/s)	Velocidad (mm/s)	Velocidad (mm/s)
TIPO I:	Edificios públicos o industriales	20	20… 40	40… 50
TIPO II:	Edificios de viviendas o asimilables a viviendas	5	5… 15	15… 20
TIPO III:	Edificios históricos o por su construcción son sensibles a la vibración	3	3… 8	8… 10

Nota. Elaboración propia con información de asistencia técnica Enaex.

La comparación entre los explosivos y el plasma (tabla 22) en algunas de sus representaciones generales.

Tabla 22

Comparación entre explosivos y plasma.

Ítem	Explosivos	Plasma
Distancia de seguridad	500 metros	150 metros
Velocidad de detonación	5 000 m/s	350 m/s
Proyección de rocas	Sin controlar	Controlada
Ruido	< 150 dB	>85 dB
Vibración	Máxima	Mínima
Biodegradable	No	Si

Nota. Elaboración propia.

5.4. Conclusiones.

Con el desarrollo de las voladuras se ha determinado que el mejor método para reducir la PPV es el método de iniciación electrónico frente al pirotécnico, por su facilidad de trabajar con tiempos variados en su programación, por entregar una menor generación de vibraciones, lo que representaría una reducción a posibles acoples de tiempo entre taladros y un mejor uso de la energía liberada.

La utilización de iniciación electrónica reduce los efectos de vibraciones, por lo que se recomienda si la meta encomendada de las voladuras es reducir los impactos por vibraciones en su cercanía a taludes, fallas u otros objetivos a resguardar.

Además de tener un mejor cuidado con estructuras a una distancia más lejana del punto de voladura por la afectación de las vibraciones sobre (estructuras geológicas, campamentos, centros poblados, etc.).

El resultado del “Modelo de Devine de campo lejano” nos permite distinguir que hay una menor afectación al utilizar iniciación electrónica.

Puede concluirse que, la fractura con plasma frente a las voladuras da una mayor seguridad por generar bajas vibraciones, no ser tan agresiva como los explosivos al no compartir sus características intrínsecas, por no provocar fly rock’s, gases nocivos, tener un menor número de decibeles, no provocar la paralización de trabajos en su totalidad, reducir su radio de influencia a personas y equipos, no ser considerado un explosivo por SUCAMEC, ser más seguro en su manipulación, trabajo y traslado, no genera un tiro cortado o quedado como en el caso del uso de explosivos.

Además de reducir los desechos peligrosos como sacos, bolsas, cajas contaminadas por contacto del ANFO o agentes de voladura.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

El trabajo realizado sobre voladura con iniciación pirotécnica, electrónica y aplicación de fracturamiento con plasma ejecutado en las áreas 3 000 y 4 000 del proyecto, nos permite recomendar lo siguiente:

- Realizar una buena selección del método de iniciación en base a las metas y objetivos trazados, además de evaluar las características y aspectos económicos.
- A la hora de realizar los monitoreos se debe tener bastante en cuenta la ubicación, dirección del sismógrafo y el terreno donde se ubica.
- Se debe realizar una buena capacitación del personal y calibración de los equipos acorde a su plan programado para tener mediciones confiables en campo.
- El personal a utilizar el plasma debe estar bien entrenado y capacitado en el uso de este método.
- Tener sumo cuidado en la buena toma de registros y datos en campo asegura un mejor análisis e interpretación para la mejora continua en el proceso.
- Capacitar, entrenar al personal en el reporte, comunicación de eventos en campo y plan de acción ante eventualidades de los trabajos realizados.
- Se recomienda continuar haciendo las pruebas con plasma ya que estas no afectan el ritmo de otros trabajos y con ello se puede evaluar mejoras.

REFERENCIAS

Acosta et al. (2011). *Memoria Sobre la Geología Económica de la Región Moquegua*. *Proyecto GE 33 "Metalogenia y geología económica por regiones"*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1393308/Memoria%20de%20Geolog%C3%ADa%20Econ%C3%B3mica%20de%20la%20Regi%C3%B3n%20Moquegua.pdf

Agrawal & Mishra. (2021). Un enfoque analítico para medir la probable superposición de agujeros debido a la dispersión en el sistema de iniciación y su efecto sobre la vibración del suelo inducida por explosiones en minas a cielo abierto. *Minería, metalurgia y exploración, Volumen* 38**,** 485–495. https://doi.org/10.1007/s42461-020-00350-2

Blair & Armstrong. (1999). The spectral control of ground vibration using electronic delay detonators. *Fragblast,3:4, 303-334.* https://doi.org/10.1080/13855149909408055

Cuayla, M. (2019). Aplicación del plasma 4TH para fragmentación controlada en la plataforma T7-proyecto Quellaveco. Tesis para optar título profesional, Universidad Nacional de Moquegua. https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/171

Cueva & Herrera. (2019). Comparación de la productividad, fragmentación y costos del sistema de iniciación electrónica versus pirotécnica en voladura-Minera Yanacocha SRL. Tesis para optar título profesional, Universidad Privada del Norte. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14653

Enaex (2019). Memoria Anual Enaex S.A. *Consultado 07 de enero del 2021.* https://docplayer.es/183632050-Memoria-anual-2019-enaex-s-a-reporte-integrado.html

Enaex S.A. (2010). Manual de Tronadura, Chile 3ra Edición.

Enaex S.A. (2020). *Ficha Técnica de Productos/Nitrocarbonitratos.* https://www.enaex.com/pe/es/nitrato-de-amonio-grado-anfo/

Enaex S.A. (2018). *Ficha Técnica Productos/Altos Explosivos Enaline.* https://www.enaex.com/pe/es/enaline-2/

Enaex S.A. (2017). *Ficha Técnica Productos/Altos Explosivos Emultex PG.* https://www.enaex.com/pe/es/emultex-pg-2/

Enaex S.A. (2011). *Ficha Técnica Productos/APD Booster.* https://www.enaex.com/pe/es/x-booster-2/

Enaex S.A. (2017). *Ficha Técnica/Accesorios de voladura Detonador no electrico dual P.* https://www.enaex.com/pe/es/daveyquick-2/

Enaex S.A. (2017). *Ficha Técnica/Accesorios de voladura Detonador no electrico dual PS.* https://www.enaex.com/pe/es/brinel-conexion/

Enaex S.A. (2017). *Ficha Técnica/Accesorios de voladura Detonador no electrico LD.* https://www.enaex.com/pe/es/brinel-iniciador/

Enaex S.A. (2017). *Ficha Técnica/Detonador electronico Daveytronic SP.* https://www.epc-espana.com/productos/detonadores/detonador-electronico/

Enaex S.A. (2018). *Ficha Técnica/Capsulas de plasma.*

Esperilla, N. (2019). Análisis y aplicación de cápsulas de plasma en la fragmentación de rocas en el proyecto minero Quellaveco–Moquegua. *Memoria anual ENAEX S.A. 2019 reporte integrado.* https://www.enaex.com/wp-content/uploads/2020/04/Memoria-2019-2.pdf

Knight Piésold Consultores (2008). Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Informe Final*. Ministerio de Energía y Minas. Consultado el 08 de enero 2021.*

http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/estudios/quellaveco/1.%20Texto.pdf

Konya, J. y Albarrán, E. (2009). Diseño de Voladuras*. Editorial Cuicatl 1998.*

Leng et al. (2021). Mechanism of the in-hole detonation wave interactions in dual initiation with electronic detonators in bench blasting operation, *Computers and Geotechnics*, Volume 129. https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103873.

López, J. (2006). Manual de tronadura. *Enaex S.A.*

Mamani, Y. (2018). Optimización de la fragmentación con el uso de detonadores electrónicos en la mina Toquepala. Tesis para optar título profesional, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna. http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3211

Ministerio de Industria Energía y Turismo, (2017). Guía de Buenas Prácticas en el Diseño y Ejecución de Voladuras en Banco.

Mishra et al. (2017). Explosiones controladas en una mina de piedra caliza utilizando detonadores electrónicos: un estudio de caso. *Revista de la Sociedad Geológica de la India J Geol Soc India* 89, 87–90 (2017). https://doi.org/10.1007/s12594-017-0563-5.

Peña, J. (2019). Reducir el porcentaje de dilución mediante el reemplazo de detonadores pirotécnicos por detonadores electrónicos, en la fase 5 del tajo Isabelita-El toro. Tesis para optar título profesional, Universidad Nacional de Trujillo. https://1library.co/document/dy4op4rz-porcentaje-dilucion-reemplazo-detonadores-pirotecnicos-detonadores-electronicos-isabelita.html

Peralta, E. (2019). Estudio de los procesos de perforación y voladura y su implicancia en el rendimiento y seguridad en Sociedad Minera Cerro Verde. Tesis, Universidad

Nacional de San Agustín de Arequipa. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10271

Romero, R. (2016). Voladura con Detonadores Electrónicos para Optimizar la Fragmentación y Seguridad en el Tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A. Tesis para optar titulo profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú. http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3897/Romero%20Paucar.pdf?sequence=1

Schlumberger Water Services Perú S.A. (2014). Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto de Exploración PUCA URKKU. *Energía y Minas Moquegua. Consultado el 08 de enero del 2021.* http://www.energiayminasmoquegua.gob.pe/web/phocadownload/Estudios_Ambientales/DIA/DIA_Puca_Urku.pdf

Shi & Chen, (2011). Optimización del tiempo de demora en las operaciones de voladura para mitigar los efectos de la vibración en la estabilidad de las paredes finales del pozo. *Revista ScienceDirect Dinamica de suelos e ingenieria sismica, Volumen 31,*Número 8*,* 1154-1158. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2011.04.004

Suresh & Piyush, (2016). Evaluación del rendimiento de voladura utilizando detonadores electrónicos de tubo de choque Vis-à-Vis en formaciones de gneis de silimanita de silimanita de granate fuerte. *Revista de la Institución de Ingenieros (India): Serie D* 97, 87 - 97*.* https://doi.org/10.1007/s40033-015-0078-4

Universidad Tecnologica de Chile Instituto profesional centro de formación tecnica. (2021). Área Minería y Metalurgía. Extracción Mina I: Apuntes Explosivos. http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Mineria-y-Geomatica/AAI_OPEX01_Material_Extraccion_Mina_I_Explosivos.pdf

Walsh Perú S.A. (2012). Plan de cierre de minas proyecto Quellaveco. *Energía y minas Moquegua. Consultado el 09 de enero del 2021.* http://www.energiayminasmoquegua.gob.pe/web/phocadownload/Estudios_Ambientales/PC/PC_Quellaveco.pdf

ANEXOS

ANEXO 1: Proyecto 016 – Plataforma de Relaves 21-02-2020 pre voladura, iniciación pirotécnica.

ANEXO 2: Proyecto 016 – Plataforma de Relaves 21-02-2020 post voladura, iniciación pirotécnica.

ANEXO 3: Proyecto 017 – Plataforma de Relaves 23-02-2020 pre voladura, iniciación pirotécnica,

ANEXO 4: Proyecto 017 – Plataforma de Relaves 23-02-2020 post voladura, iniciación pirotécnica.

ANEXO 5: PROYECTO 080 – PLATAFORMA GARITA 10-11-2019 pre voladura, iniciación electrónica.

ANEXO 6: PROYECTO 080 – PLATAFORMA GARITA 10-11-2019 pre voladura, iniciación electrónica.

ANEXO 7: PROYECTO 080 – PLATAFORMA GARITA 10-11-2019 post voladura, iniciación electrónica.

ANEXO 8: PROYECTO 080 – PLATAFORMA GARITA 10-11-2019 post voladura, iniciación electrónica.

ANEXO 9: PROYECTO 091 – PLATAFORMA GARITA 02-12-2019 pre voladura, iniciación electrónica.

ANEXO 10: PROYECTO 091 – PLATAFORMA GARITA 02-12-2019 post voladura, iniciación electrónica.

ANEXO 11: PROYECTO 109 – PLATAFORMA FLOTACIÓN 04-11-2019 pre fractura.

ANEXO 12: PROYECTO 109 – PLATAFORMA FLOTACIÓN 04-11-2019 post fractura.

ANEXO 13: PROYECTO 109 – PLATAFORMA FLOTACIÓN 04-11-2019 contorno a proyecto de fractura.

Figura 29

ANEXO 1 - Pre-voladura con iniciación pirotécnica.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 30

ANEXO 2 - Post voladura con iniciación pirotécnica.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 31

ANEXO 3 - Pre-voladura con iniciación pirotécnica.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 32

ANEXO 4 - Post voladura con indicación pirotécnica.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 33

ANEXO 5 - Pre-voladura con iniciación electrónica.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 34

ANEXO 6 - Pre-voladura con iniciación electrónica.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 35

ANEXO 7 - Post voladura con iniciación electrónica.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 36

ANEXO 8 - Post voladura con iniciación electrónica.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 37

ANEXO 9 - Pre-voladura con iniciación electrónica.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 38

ANEXO 10 - Post voladura con iniciación electrónica.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 39

ANEXO 11 - Pre fractura con plasma.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 40

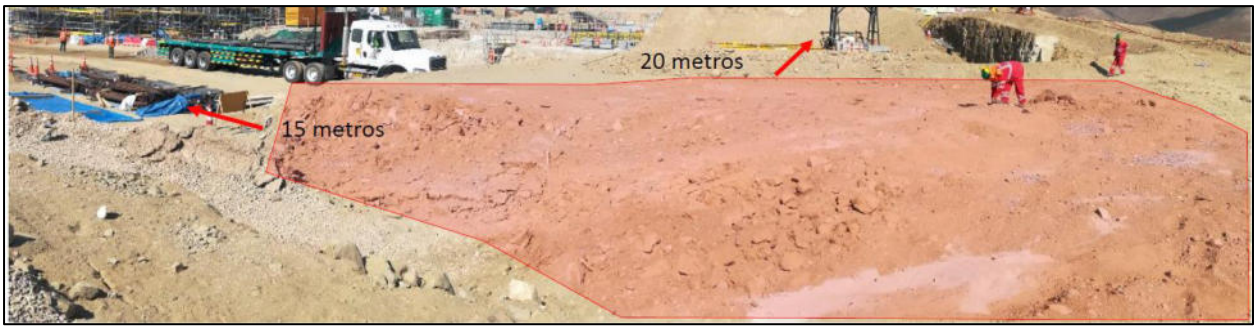
ANEXO 12 - Post fractura con plasma.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 41

ANEXO 13 - Contorno a proyecto post fractura.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 42

Inspección del área de voladura.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 43

Primado de booster y colocación.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 44

Carguío de taladro y medición de Anfo.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 45

Taladro tapado.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 46

Primado de detonador electrónico.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 47

Carguío de taladro de voladura.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 48

Detonador electrónico Daveytronic.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 49

Cierre de accesos a proyecto de voladura.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 50

Realización de amarre de malla de voladura.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 51

Culminación de trabajos en malla de voladura.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 52

Filmación de malla de voladura.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 53

Programación de detonador electrónico.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 54

Equipo sismógrafo en punto de monitoreo.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 55

Ronominer.



Nota. Tomado de memoria anual Enaex 2019.

Figura 56

Mine i-Truck.



Nota. Tomado de memoria anual Enaex 2019.

Figura 57

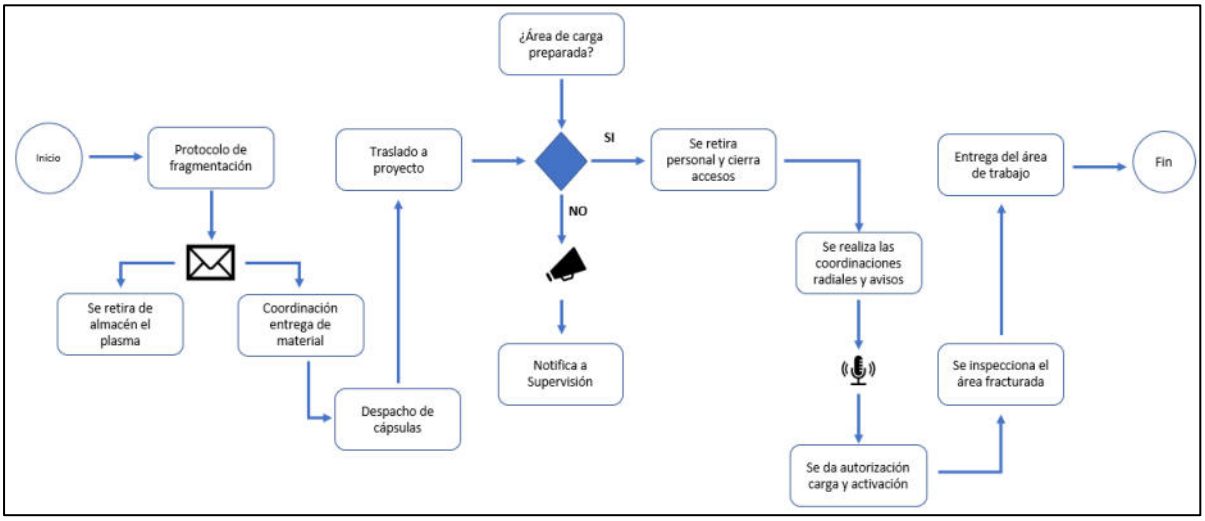
Camión fabrica.



Nota. Tomado de memoria anual Enaex 2019.

Figura 58

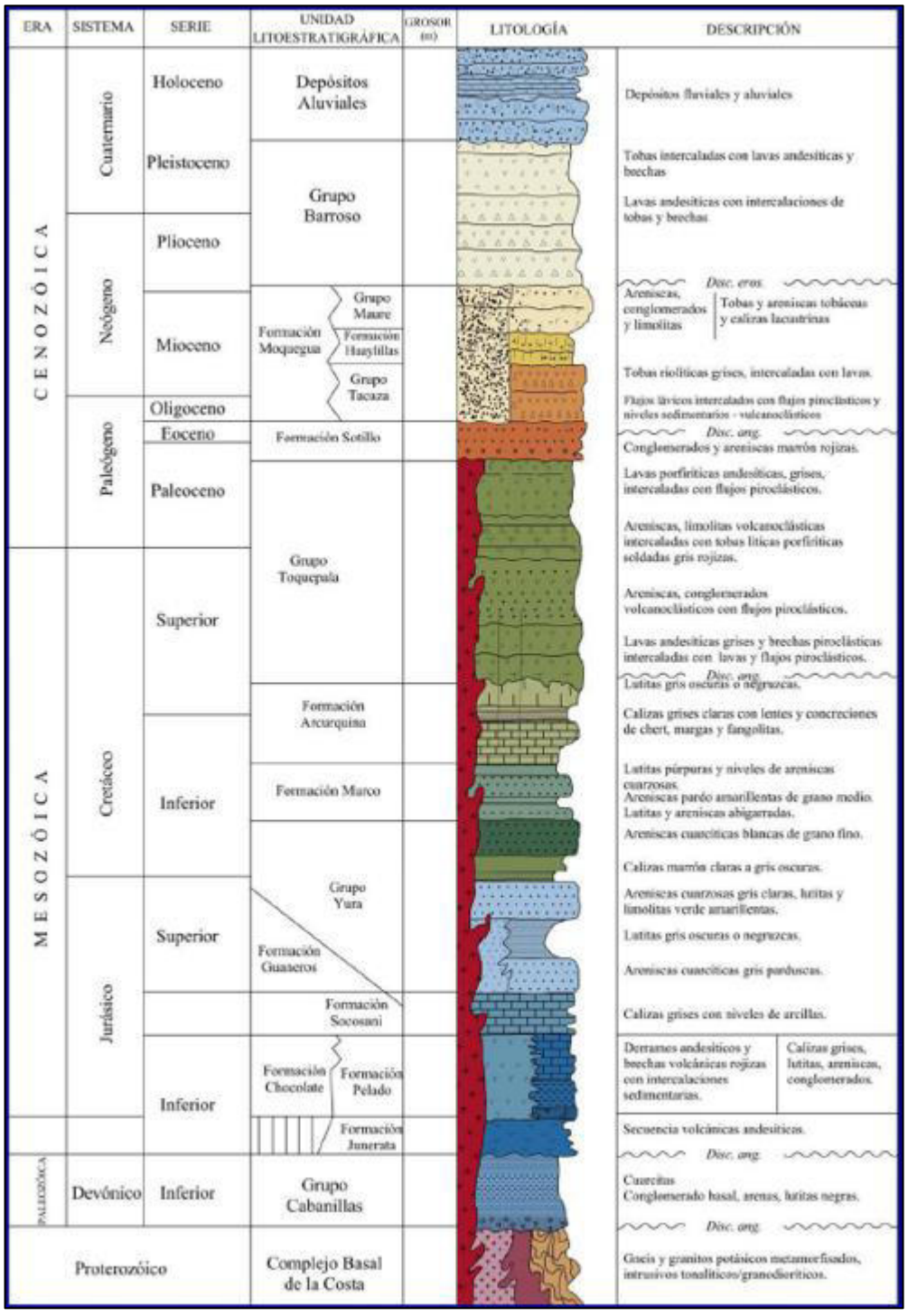
Diagrama de proceso de fractura con plasma.



Nota. Elaboración propia con información de Enaex.

Figura 59

Estratigrafía de Moquegua.



Nota. Tomada de (INGEMMET Geología Cuadrángulo de Moquegua, 1979).

Productos Utilizados.

Figura 60

Anfo premiun.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 61

Emulsión encartuchada Enaline.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 62

Emulsión encartuchada Emultex.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 63

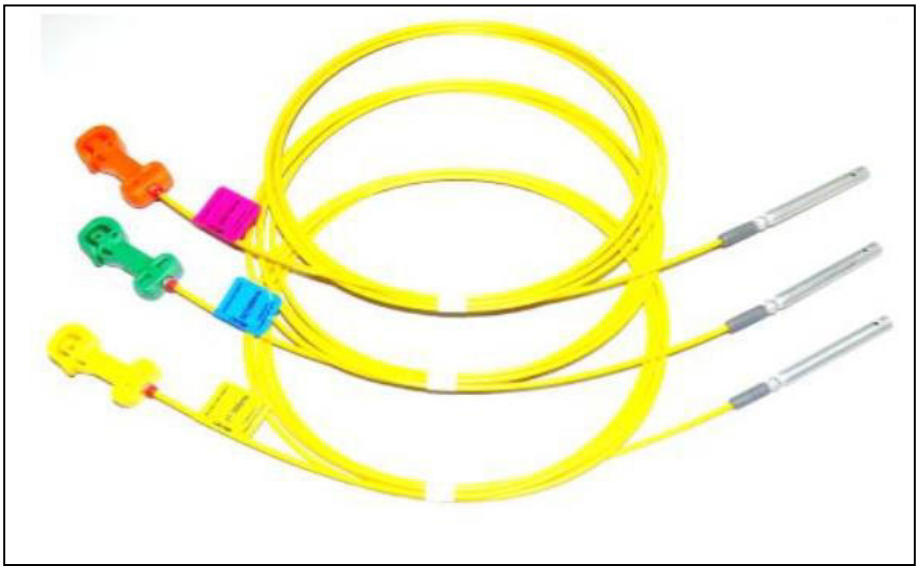
APD Booster.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 64

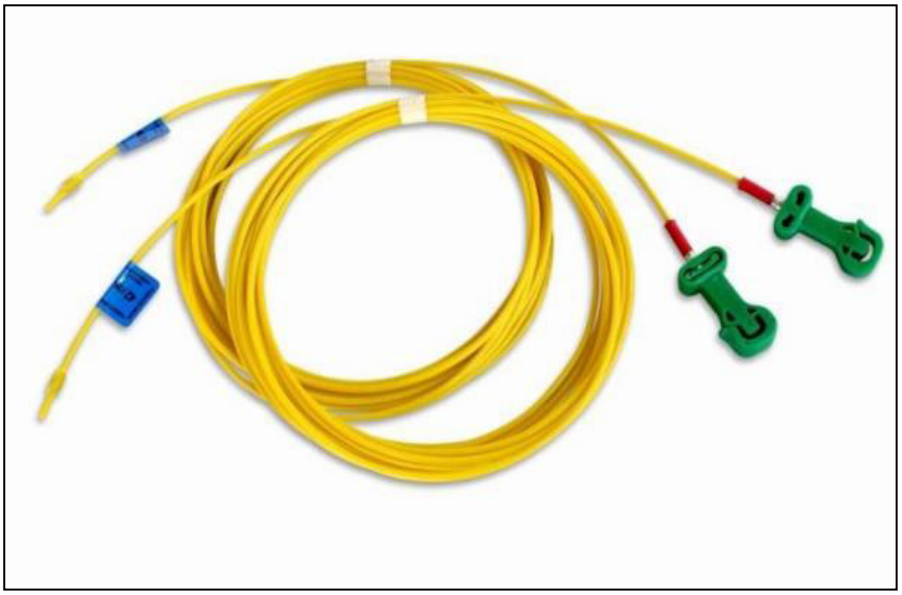
Detonador no electrónico dual P.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 65

Detonador no electrónico SP



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 66

Detonador no eléctrico LD.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 67

Detonador electrónico Daveytronic.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

Figura 68

Capsulas de plasma.



Nota. Información de asistencia técnica Enaex.

ANEXO 23

Procedimientos detonación pirotécnica.

Enaex	**DETONACIÓN PIROTÉCNICA**	
	ÁREA: VOLADURA	**Versión : 00**
	CÓDIGO: AAQSA-OPE-PETS-05	**Página: 106 - 125**

1. PERSONAL

1.1. Supervisor de voladura

1.2. Supervisor de Seguridad.

1.3. Operador de equipo auxiliar.

1.4. Operario de camión furgón.

1.5. Operario de piso

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

2.1. Equipo Básico:

2.1.1. Casco de seguridad

2.1.2. Barbiquejo

2.1.3. Lentes de seguridad (Claros y/o oscuros)

2.1.4. Overol

2.1.5. Chaleco con cinta reflectiva

2.1.6. Guantes

2.1.7. Zapatos de seguridad

2.1.8. Protector solar.

2.2. **Equipo Específico:** Según: labor, exposición y factor climático:

2.2.1. Protector respiratorio Respirador de madia cara con filtro mixto (polvo, gases).

2.2.2. Protector auditivo (tipo copa o tapones descartables)

2.2.3. Overol térmico (Según temperaturas bajas).

3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES.

3.1. Materiales

3.1.1. Línea silenciosa. De 500 m o 700 m

3.1.2. Plano de secuencia del amarre pirotécnico.

3.1.3. IPERC continuo (firmado y revisado por personal de supervisión)

3.2. Equipos

3.2.1. Camioneta furgón.

3.2.2. Equipos de comunicación: radio Handy portátil

3.2.3. Starter. (Equipo de inicio de la línea silenciosa)

3.3. **Herramientas:**

3.3.1. Cuchilla pico de loro.

3.3.2. Tijera de corte.

3.3.3. Plumón.

3.3.4. Cinta aislante.

4. PROCEDIMIENTO

4.1. Amarre para iniciación pirotécnica

4.1.1. Todos los trabajos de manipulación de explosivos serán realizados por personal capacitado en uso de explosivos y deberán contar con su carnet SUCAMEC vigente.

4.1.2. Se debe contar con las hojas MSDS en el punto de trabajo.

4.1.3. Realizar el amarre de los detonadores no eléctricos a la línea de disparo siempre revisando que el tubo de choque no tengas golpes o cortes que pongan en riesgo la secuencia de salida de inicio a fin.

4.1.4. Los tubos de choque que se encuentran en superficie, serán conectados en retardos de superficie y estos a su vez serán conectados a la línea de disparo. En cada conector solo se colocará 6 tubos de choque como máximo.

4.1.5. Se utilizará dos retardos de superficie como mínimo por seguridad para la iniciación pirotécnica en troncal y entre filas.

4.1.6. El personal debe de conectar los tubos de choque en el conector asegurándose el encroche entre el tubo de choque con el fulminante para asegurar su detonación.

4.1.7. De producir un corte a la línea se debe comunicar inmediatamente al supervisor de voladura para darle solución al corte, o en su defecto señalizar e identificar el número de taladro.

4.1.8. Verificar el plano de conexión o diseño del amarre para ubicar el correcto punto de inicio. Cuando se realicen voladuras simultaneas de 2 o más proyectos, analizar la secuencia de salida de los mismos para evitar posibles tiros cortados.

4.1.9. Acorde al diseño se colocarán los conectores y sus colas para dar un orden en malla.

4.1.10. Si por alguna razón el largo de los tubos es insuficiente para la conexión, se debe recurrir a tubos con retardo de superficie y se empalmara con otro tubo de choque.

4.1.11. El personal responsable de tener material sobrante debe comunicar para su retiro y realizar el orden y limpieza.

4.1.12. Utilizar retardos superficiales para la conexión de la línea troncal de acuerdo al diseño de voladura aprobado en el protocolo.

4.1.13. Terminada la conexión el supervisor de voladura o personal designado realiza una inspección física (tacto), visual de cada uno de los puntos de conexión tomando las precauciones para no pisar ni enredar con los pies los tubos, se marcará con plumón cada conector superficial con una marca (raya) en el cuello del conector y numeración de los testigos, quedando registrado la verificación del amarre.

4.1.14. La conexión de los amarres de la malla de voladura se filmará con una cámara digital como evidencia del correcto amarre del total de taladros.

4.1.15. Se asegurará con cinta aislante la troncal y los puntos de unión entre filas.

4.1.16. Antes de extender la línea silenciosa los accesos deben estar cerrados por los vigías de voladura y totalmente libre de transito de equipos y unidades.

4.1.17. Asegurar con cinta aislante el punto de contacto del conector del tubo de la línea silenciosa con los tubos receptores del punto inicio de detonación (primer taladro).

4.1.18. Por cada disparo se debe contar con 04 rollos de línea silenciosa como mínimo, para estar listos en caso se produjera algún corte de línea o una segunda detonación.

4.1.19. Se encuentra prohibido correr al realizar el proceso de tendido de línea silenciosa.

4.2. Inicio de precorte y/o secundario.

4.2.1. Se utilizará la cuchilla pico de loro y/o tijera de corte en caso se requiera cortar cordón detonante, se debe utilizar guantes anti corte, se debe mantener la cuchilla retraída cuando no se utilice y no se debe exponer las manos a la línea de fuego cuando se utilice la cuchilla pico de loro y/o tijera.

4.2.2. Se conectará el fulminante de la línea silenciosa al tubo de choque que cuente con fulminante potencia N°12 u 8 que dará inicio al cordón detonante.

4.2.3. En caso de mallas con taladros de precorte con producción, realizar las conexiones analizando la secuencia de salida en la que los taladros de precorte detonen antes que los taladros de producción.

4.2.4. Revisar en la secuencia de salida según protocolo aprobado.

4.3. Tendido de línea silenciosa

4.3.1. Caminar por lugares libres de obstáculos. Identificar niveles y desniveles. Tomar la distancia prudente de 1 a 2 metros de separación de talud y cresta.

4.3.2. En el Meeting se comunicará la dirección donde se tenderá la línea silenciosa.

4.3.3. Antes de extender la línea silenciosa los accesos deben estar cerrados y totalmente libre de transito de equipos y unidades con los vigías de voladura.

4.3.4. Por cada disparo se debe contar con cuatro rollos de línea silenciosa, para estar listos en caso se produjera algún corte de línea.

4.3.5. El supervisor de voladura “ENAEX 01” verificara el extendido de la línea silenciosa y que el percutor/Starter esté en perfectas condiciones.

4.3.6. Se encuentra prohibido correr al realizar el proceso de colocación de línea silenciosa.

4.3.7. La línea silenciosa que sobra de la voladura se percuta inmediatamente para que quede un tubo inerte sin explosivo.

4.4. Ubicación de punto de disparo

4.4.1. El personal debe estar capacitado y entrenado.

4.4.2. Se verificará en el plano de evacuación del proyecto la zona más idónea para realizar el disparo en campo.

4.4.3. En el Meeting se comunicará la dirección donde se tenderá la línea silenciosa.

4.5. Detonación de proyecto

4.5.1. El personal involucrado en la detonación una vez llegado a su punto alistará el equipo de inicio de disparo tiempo que dependerá de la cantidad de línea silenciosa.

4.5.2. El supervisor de voladura “Enaex 01” dará la autorización para conexión de la línea silenciosa al percutor o equipo iniciador para voladura no eléctrica.

4.5.3. El supervisor de voladura “Enaex 01” comunicara a (O1) para iniciar con el chispeo del disparo. El disparador procederá a tener preparado el percutor/starter para el chispeo y tomar el tiempo de espera para la detonación.

4.5.4. El supervisor de voladura “Enaex 01” dará la orden de fuego a través de una cuenta regresiva de 5, 4, 3, 2, 1, “fuego”, donde el disparador procederá a ejecutar el disparo.

4.5.5. Transcurrido un tiempo de 5 minutos y según evaluación del supervisor de voladura “Enaex 01” dará la autorización de ingreso al proyecto volado para su verificación.

4.5.6. Después del disparo se recoge la línea silenciosa que fue utilizada para el disparo y se coloca en la zona de residuos del polvorín.

5. RESTRICCIONES

5.1. En alerta naranja se paraliza los trabajos de manipulación de explosivos.

5.2. En caso de alerta roja, se cierra los accesos con unidades móviles con vigías de voladura según el radio de influencia.

5.3. Una vez pasado a alerta amarilla se procederá a detonar el proyecto de voladura.

5.4. Estar atento a las alertas de tormentas, las unidades con carga de explosivos y accesorios se llevará al proyecto de voladura o polvorines según sea su cercanía,

coordinar el recojo de personal. Los equipos que transportan explosivos y/o accesorios no están autorizados como refugios si se encuentra portando materiales de voladura (explosivos, accesorios).

5.5. No usar Celular durante la tarea. Paralizar toda acción para hacer uso de dicho equipo. Si esta fatigado, auto medicado, o con síntomas de salud anormal, paralice la labor y comunique al supervisor.

5.6. No usar Herramientas hechizas, o reacondicionadas para la labor.

5.7. Detener toda actividad si algún equipo presenta condiciones sub estándares que pongan en riesgo la integridad personal, medio ambiente o equipos/vehículos.

5.8. Si no hay las condiciones seguras para la labor, tiene el derecho a decir NO.

5.9. No está permitido realizar dicha labor bajo los efectos del alcohol, drogas y/o estupefacientes, tampoco está permitido fumar.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Enaex Daniel Chambi Ocsa SUPERVISOR DE VOLADURA	Enaex Marco Antonio Queque Arias SUPERVISOR DE VOLADURA	Enaex Henry Gomez Huancahuire SUPERVISOR SSOMA	Enaex Oscar Lara N. JEFE DE SERVICIO
Daniel Chambi Ocsa	Marco Queque A.	Henry Gomez H.	Oscar Lara Negron
Supervisor de Voladura Fecha de Aprobación:14/11/19	Supervisor de Voladura	Supervisor de seguridad	Jefe de servicios Fecha de Aprobación:14/11/19

Nota: Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro Detonación Pirotécnica - Enaex.

ANEXO 24

Procedimientos detonación electrónica.

Enaex	**DETONACION ELECTRONICA**	
	ÁREA: VOLADURA / **Versión: 00**	
	CÓDIGO: AAQSA-OPE-PETS-06 / **Página: 112 - 9**	

1. PERSONAL

1.1. Programador de disparos electrónicos: Personal encargado de realizar la programación, testeo, instalación y detonación de detonadores Electrónicos.

1.2. Supervisor de Voladura: Supervisor responsable de la voladura.

1.3. Supervisor SSOMA**:** Supervisor encargado de la ubicación de los vigías.

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

2.1. Equipo Básico:

2.1.1. Casco de seguridad.

2.1.2. Lentes de seguridad (Claros y/o oscuros).

2.1.3. Chaleco con cinta reflectiva.

2.1.4. Guantes Hyflex.

2.1.5. Zapatos de seguridad.

2.1.6. Protector solar.

2.2. Equipo Específico: Según: labor, exposición y factor climático:

2.2.1. Protector respiratorio (polvo/gas),

2.2.2. Protector auditivo (a 30 metros de perforadora u otro equipo similar).

2.2.3. Overol térmico (Según temperaturas bajas).

2.2.4. Ropa de agua (Según condiciones climáticas).

3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES

3.1. Equipos:

3.1.1. 01 Daveytronic Remote Blaster (DRB).

3.1.2. 01 Daveytronic Blast Driver (DBD).

3.1.3. 02 Unidades de Programación (PU´s).

3.1.4. 02 antenas.

3.1.5. Trípode.

3.1.6. Radio comunicación.

3.1.7. Camioneta.

3.1.8. Teléfono celular.

3.1.9. Conectores bidireccionales.

3.1.10. Caja Protectora de DBD.

3.1.11. T de Cu (puesta a tierra).

3.2. Herramientas:

3.2.1. Alicate Pelacables

3.3. Materiales:

3.3.1. Cinta aislantes

3.3.2. Plano de evacuación.

3.3.3. Planos de secuencia de iniciación (plano de amarre, secuencia y tiempo.)

3.3.4. Cable de amarre M-35

4. PROCEDIMIENTO

4.1. El día anterior al disparo verificar el funcionamiento de los equipos Daveytronic a utilizar (auto test, simulación de disparo con dummy) a través del Check List Diario Equipos Daveytronic SP, con código “FOR-AT-EN-002”.

4.2. Revisar que cada set contenga:

- 01 Daveytronic Remote Blaster (DRB).
- 01 Daveytronic Blast Driver (DBD)
- 02 Unidades de Programación (PU´s).
- 02 a 04 antenas.
- Accesorios adicionales (cargador para camioneta, Tarjeta RFID de disparo).

4.3. Luego se deberá cargar completamente todos los equipos y dejarlos listos para el día del Disparo.

4.4. Coordinaciones previas

4.4.1. Comunicar y coordinar el trabajo a ejecutar, la zona de la ubicación del DBD y el punto de disparo (lugar donde se realizará la detonación) con el Supervisor de Voladura y el Supervisor SSOMA (esta zona debe estar en un lugar seguro, fuera del radio de influencia de la voladura para personas).

4.5. Realizar la Identificación de Peligros Evaluación de Riesgos y Control (IPERC) correspondiente.

4.6. Programación de detonadores:

4.6.1. Las PU´s deben ser tagueadas con la DBD en modo manual. En este modo manual uno crea la secuencia de programación de acuerdo como le permita la operación en malla.

4.6.2. Abrir el conector que posee el detonador Daveytronic y conectarlo en los terminales de conexión de los conectores de la Pu.

4.6.3. Para programar digite el tiempo de retardo de acuerdo al plano de tiempos, luego presione ENTER. El número de orden será asignado automáticamente por la PU. En la PU mostrará el mensaje: “Programando OK” lo que significa que quedará grabado en la memoria de la PU la secuencia de programación, el ID del detonador y el tiempo asignado. La

PU queda lista para programar el siguiente detonador. Una vez que el detonador ha sido programado, el tiempo de retardo puede ser cambiado de ser necesario, por ejemplo, en caso de equivocación o cambio de secuencia en terreno. Esto se realiza con la opción “leer” luego presionar (enter) para cambiar el tiempo. Otra forma de cambiar los tiempos es entrando a la Opción “Lista” + “Plan de Disparo” luego cambiar el tiempo de cualquier detonador.

4.6.4. Luego de la programación siempre los detonadores deben volver a cerrarse.

4.6.5. Anotar cualquier problema que se pueda encontrar al momento de la programación en el plano impreso de acuerdo a la simbología que se tiene para la unidad.

4.7. Conexión y Testeo de Detonadores:

4.7.1. Para conectar los detonadores al cable de conexión (M-35), se utiliza el conector superficial, el cual debe verificar que se encuentre el número de detonador programado. Luego conectarlo al cable M35, se puede volver a abrir si es necesario para chequear y luego volver a conectar.

4.7.2. Una vez que todos los detonadores estén conectados a la(s) línea(s) primaria(s), éstas se unen en un solo punto y se realizan los TEST con la PU.

4.7.3. Realizar la medición de Fuga, entrar en la Opción “Función” + “Test” + “Test línea”.

4.7.4. Realizar el testeo de la línea principal el cual se encuentran conectados los detonadores, en caso de que una línea primaria presente fuga mayor a 5mA, una búsqueda binaria y realizar un reemplazo (Back Up). Si al

realizar el testeo el equipo indica que existe corto circuito en alguna línea primaria (emplear función ohmímetro para localizar el corto circuito) entonces realizar una búsqueda binaria y solucionarla.

4.7.5. Cuando la medición de todas las líneas juntas es menor a 15mA. proceder a realizar la opción “Búsqueda Desconectados”. Una vez finalizada la búsqueda, la PU mostrará mensajes tales como: Cero errores: Todos los detonadores programados están conectados a la línea. Proceder con el siguiente chequeo.

4.7.6. Luego de realizar la “Búsqueda Desconectados” se debe realizar el “Conteo de Detonadores”, este chequeo nos indica cuantos detonadores están conectados a la línea, sin importar de que haya detonadores que no estén programados. Al realizar el conteo y esta cantidad es superior al número de detonadores programados, esto quiere decir que la diferencia de cantidades es el número de detonadores que están conectados al cable M-35 pero no están programados. En este caso se tiene que encontrar al (los) detonador(es) que no fueron programados. Una vez ubicado el detonador se procede a programarlo y volver a realizar el conteo de detonadores.

4.7.7. No se debe omitir por ningún motivo, realizar todos los TEST antes de salir al punto de disparo.

4.8. Tendido de Línea Troncal:

4.8.1. Una vez realizado los tres chequeos anteriores, unir todos los cables a un solo cable M35, que se llamará línea troncal o cable de disparo.

4.8.2. Extender el cable de disparo en una extensión que esté fuera del área de voladura (500 metros como mínimo) que será el punto de detonación con

la DRB (voladura alámbrica) o cerca del disparo para detonación remota con la DBD, dicho lugar debe ser un área segura y protegida de proyecciones o caídas de roca. Tener en consideración que de haber muchos detonadores y hay fuga alta en la malla se deberá sacar una línea trocal por PU utilizada.

4.8.3. Extender el cable por un lugar seguro, libre del tránsito de equipos, caída de rocas. En caso se tenga que cruzar una vía, se comunicará al Supervisor de Voladura que se procederá a cruzar la vía cuando el Supervisor de Voladura de conformidad de que ya no pasarán equipos.

4.8.4. En caso el disparo sea inalámbrico, instalar el trípode. Sobre el trípode colocar la caja protectora de DBD y dentro de la caja colocar el DBD con la antena instalada. El DBD debe apuntar hacia el punto de disparo coordinado anteriormente. En este punto volver a realizar los 3 test con la PU antes de conectar los cables al DBD. Si es que no presenta ningún error, proceder con la conexión de los terminales del cable al DBD.

4.9. Detonación

4.9.1. Dirigirse al punto de disparo comunicándole al Supervisor de Voladura cuando se encuentra fuera del radio de Voladura y en el Punto de disparo.

4.9.2. Ya en el punto de disparo taguear la o las PU´s con la DRB para pasar la información del disparo. Además, se realizará la prueba de señal y calidad.

4.9.3. El supervisor de voladura se encontrará en el punto de disparo, para cualquier inconveniente, y él dará la orden para el inicio de programación, en esta etapa el DRB realizará el test de Línea, Detonadores Extra y Autotest de Detonadores. Si no se presenta ningún inconveniente el DRB

dará la autorización para cargar los detonadores, se tagueará la tarjeta RFID para autorizar la carga, una vez terminado este proceso, el equipo dará la autorización para el disparo, en este momento se comunicará al Supervisor de Voladura que nos encontramos listos para el disparo, el Supervisor de Voladura iniciará la cuenta regresiva del 5 a 0, y dará la autorización para la detonación, una vez el Supervisor de Voladura de la autorización se procederá con la Detonación.

4.9.4. Luego de realizar el disparo esperar la autorización del Supervisor de Voladura para recoger los equipos y el cable M-35.

5. RESTRICCIONES

5.1. Durante tormentas eléctricas: Alerta roja y naranja suspender toda actividad, en alerta amarilla alistar todo lo necesario y comunicar al supervisor para la evacuación respectiva de la zona.

5.2. No usar Herramientas hechizas o reacondicionadas para la labor.

5.3. Detener toda actividad si algún equipo presenta condiciones sub estándares que pongan en riesgo la integridad personal, medio ambiente o equipos/vehículos.

5.4. Si las condiciones de luz artificial son deficientes, no realice esta labor.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
			
Jonathan Alvis Cjuro	Luis Iglesias Salas	Henry Gomez H.	Oscar Lara Negron
Asistente Técnico	Asistente Técnico	Supervisor de Seguridad	Jefe de servicios

Fecha de Aprobación:14/11/19			Fecha de Aprobación:14/11/19

Nota: Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro Detonación Electrónica - Enaex.

ANEXO 25

PET / JSA Medición de VOD

SECCIÓN I – INFORMACIÓN GENERAL			
Proyecto Quellaveco	Nombre de la Empresa: CHEMTRADE	N°. de Contrato: K-CS-292B	Fecha: 21-09-2019
Ubicación(es) Específica(s): Área 2000, área 3000, área 4000 y área 5000			Nivel de Riego Residual (IPERC Línea Base): MEDIO

Alcance del trabajo / Descripción:

Alcance:
A todos los trabajadores involucrados en las tareas de asistencia técnica.
Descripción:
El área de Asistencia Técnica realizara la medición de VOD (velocidad de detonación del explosivo); la VOD es la velocidad a la cual las ondas de detonación viajan a través de un producto explosivo.

El personal debe estar entrenado para la manipulación de estos equipos y contar con carnet SUCAMEC.

En caso de una emergencia comunicarse a los siguientes contactos de emergencia del proyecto:
- Teléfono fijo 053-309044
- Celular 943652972
- Radio canal 01 indicando la palabra NIDO

Responsabilidades: (Identificar al personal responsable de proveer recursos, indique cargos y especificar sus responsabilidades)

- **Supervisor de Voladura**: Ingeniero responsable del correcto carguío y tapado de taladros en el proyecto de voladura con detonadores electrónicos; quien proporcionará la información final de la cantidad de taladros cargados y detonadores electrónicos empleados con la finalidad que el programador de disparos una vez culmine la programación de detonadores electrónicos Daveytronic y amarre del proyecto puede convalidar el consumo de dichos accesorios para conocer la totalidad de taladros a disparar. Responsable en llevar a cabo el proceso de voladura.
- **Ingeniero de Asistencia Técnica**: Ingeniero responsable de la correcta instalación de equipos de monitoreo VOD en el proyecto de voladura.
- **Supervisor SSOMA**: Ingeniero responsable de verificar que se cumpla los procedimientos y estándares en el área de trabajo; responsable de verificar la evacuación de personal y equipos.

Equipos, Herramientas y Materiales Requeridos: (especificar qué y cantidad)

- **Equipos:** 01 camioneta para traslado de personal, 01 Microtrap y Radio Handy
- **Herramientas:** Alicate pela-cable y multitester.
- **Materiales:** Cinta aislante, cable coaxial, cable sensitivo, caja protectora.

Requerimiento de personal para la tarea: (Especificar cargo y cantidad)

- **01 Supervisor de Voladura**: Supervisa los trabajos de cebado, carguío y tapados de taladros en un proyecto de voladura.
- **01 Supervisor SSOMA:** Supervisor que verifica se cumplan los estándares y procedimientos de voladura.
- **01 Ingeniero de Asistencia Técnica:** Encargado de la instalación de equipos de monitoreo.

Requerimientos de EPP: (Especificar detalle del EPP y cantidad)

- **Personal:** 01 par de orejeras y/o 01 tapón de oídos, 01 par de lentes de seguridad (claros y oscuros), 01 par de guantes anti-cortes, 01 uniforme de trabajo, 01 chaleco de seguridad con cinta reflectiva, 01 par de zapatos de seguridad, 01 casco de seguridad, 01 cortaviento, 01 barbiquejo (según tarea), 01 respirador media cara con filtros, 01 bloqueado solar, 01 ropa de agua (según condiciones).

Restricciones:

- No contar con ATS/IPERC Continuo llenado y firmado.
- No contar con dispositivos de comunicación (radio Handy con la frecuencia de operación).
- No contar con documentación vigente y autorizado.
- Ningún personal puede manipular explosivos sin contar con carnet de SUCAMEC vigente.

SECCIÓN II – ¿EL TRABAJO REQUIERE ALGUNA DE LAS SIGUIENTES OPERACIONES?

3 = Requiere entrenamiento formal/especial λ = Requiere permiso/forma/reporte ν = Requiere certificación o designación de Persona Competente/Calificada

Δ = Operación Life Critical = Requiere Evaluación de Riesgo

		Si	Procedimiento			Si	Procedimiento
Plataforma Aéreas	✓ Δ	☐		Trabajo con Plomo	✓ λ ■	☐	
Asbestos	✓ λ ν	☐		Comunicación Limitada		☐	
Espacio Confinado	✓ λ ■	☐		Carga/Descarga de Material	Δ	☐	
Riesgo Eléctrico Δ	✓ λ ■	☐		Exposición a Ruido	✓	☐	HSE. 5.03
Paro de Emergencia		☐		Camiones Industriales	ν Δ	☐	
Excavaciones / Zanjas	λ ■ Δ	☐		Proceso Inestable/alterado		☐	
Apertura de Líneas	✓ λ Δ	☐		Área de Trabajo con Radiación	✓ λ	☐	
Retirada de Rejilla/Tapas/Barandales	λ Δ	☐		Ubicación Remota		☐	
Control de Energías Peligrosas Δ	✓ λ ■	☐		Riesgos Respiratorios	✓	☐	
Productos Peligrosos HDS	✓	☐		Trabajos en Techos Δ	3 λ ■	☐	
Operaciones de Limpieza Peligrosas	✓ λ	☐		Tráfico Vehicular en Sitio		☐	
Maquinaria Pesada	✓ ■ Δ	☐		Temperaturas Extremas		☐	
Potenciales de Alta Energía		☐		Mantenimiento Inesperado/Cambios		☐	
Eslingado, Suspensión y Grúas	✓ ■ Δ	☐		Trabajo en Solitario		☐	
Trabajos Calientes	✓ λ	☐		Trabajo en Altura (≥1.8 m) Δ	✓ λ ■	☐	
Escaleras y Andamios	✓ λ ■	☐		Otros Tormentas Eléctricas Procedimiento de Voladuras		☐	HSE 2.46 HSE 2.33 /2.52

SECCIÓN III ¿ALGUNO DE ESTOS FACTORES HUMANOS/ORGANIZACIONALES ES APLICABLE EN ESTE TRABAJO?			
Naturaleza Humana	**Factores Organizacionales**	**Ambiente de Trabajo**	**Capacidades Individuales**
☐ Asunciones (inadecuada imagen mental)	☒ Importancia de la programación	☐ Cambios /salidas de rutina	☒ Actitud "Peligrosa" en tarea crítica
☒ Complacencia /exceso de confianza	☐ Falta de soporte a la autoridad de parar el trabajo inseguro	☐ Paneles o controles confusos	☐ Enfermedad/fatiga
☒ Distracción	☒ Conflictos personales	☒ Distracciones/interrupciones	☒ Hábitos de comunicación imprecisos
☒ Hábitos	☒ Comunicación pobre con los compañeros/supervisor	☐ Respuesta oculta del sistema	☐ Escasas habilidades de resolución de problemas
☒ Inapropiada percepción de los riesgos	☒ Objetivos, roles y responsabilidades no claras	☐ Falta de indicación alternativa	☐ Falta de conocimiento (modelo mental)
☐ Memoria a corto plazo limitada	**Demandas de la Tarea**	☐ Condiciones inesperadas del equipo	☒ Falta de competencia/ inexperiencia
☐ Atajos mentales	☐ Alta carga de trabajo (requisito de memoria)	☐ Trabajos alrededor/ Instrumentos OOS	☐ Nueva técnica no utilizada anteriormente
☐ Mentalidad	☒ Requisitos de interpretación		☒ No familiarizado con la tarea – primera vez
☒ Estrés (atención limitada)	☐ Actos irrecuperables		
	☐ Falta de estándares o poco claros		

SECCIÓN IV			EVALUACIÓN DEL RIESGO RESIDUAL		
A PASOS DE LA TAREA	B PELIGROS / ASPECTOS AMBIENTALES	C MEDIDAS DE CONTROL	D CONSECUENCIAS	E PROBABILIDAD	F NIVEL DE RIESGO
Traslado de oficina - Proyecto - oficina	1. Tránsito vehicular 2. Vías de tránsito en mal estado.	1.1. Alarma de retroceso, faros neblineros y cámara de retroceso 1.2. Unidad vehicular con radio base y/o manual. 1.3. Control de velocidades por GPS. 1.4. Realizar check list antes de iniciar la tarea. 1.5. Cumplir con el RITRAN y los límites de velocidad. 1.6. Capacitación en manejo defensivo. 1.7. Cumplir con Mantenimiento preventivo de vehículos. 1.8. Contar con revisión técnica vehicular. 1.9 Cuando la visibilidad es menor a 20 m. detener el vehículo. 1.10. Cuando se presenten animales en la vía se deberá disminuir la velocidad y detener el vehículo de ser necesario. 2.1. Personal capacitado en manejo defensivo 2.2. Cumplir con el RITRAN. 2.3. Disminuir velocidad en curvas cerradas y zonas accidentadas. 2.4. Respetar los límites de velocidad y señalización. 2.5. Tocar bocina antes de ingresar a curvas. 2.6. Detener el vehículo en cualquier situación que impida la visibilidad del conductor durante su traslado	3	D	17

Ubicación del lugar de Monitoreo de VOD	1. Superficies de trabajo en mal estado, irregular 2. Talud inestable, suelos / plataformas inestables	1.1. El personal debe evitar ingresar al área de proyecto por zonas muy próximas al toe del banco y cresta, de existir caídas de rocas o desprendimiento de bancos se debe esperar la evaluación por parte de supervisión. Inspeccionar e identificar el área del proyecto. 1.2. Caminar por lugares libres de obstáculos. 1.3. Está prohibido correr dentro del proyecto de voladura. 1.4. Realizar las mediciones entre dos personas. 1.5. Uso de EPP básico (casco, lentes, chaleco, respirador media cara con filtros, guantes anti-corte y zapatos de seguridad). 2.1. Tomar la distancia prudente de 1 a 2 metros de separación de talud y cresta, contar con un vigía para la observación y comunicación. 2.2. Se debe realizar una inspección visual del talud identificando la presencia de rocas sueltas. 2.3. Uso de EPP básico (casco, lentes, chaleco, respirador media cara con filtros, guantes anti-corte y zapatos de seguridad).	2	D	21
Instalación de equipo de monitoreo de VOD	1. Manipulación de herramientas y objetos varios. 2. Manipulación manual de carga. 3. Explosivos y Accesorios de voladura (Transporte manipulación y almacenamiento)	1.1. El personal involucrado deberá realizar check list de inspección de las herramientas y equipos antes de utilizarla, en caso se encuentren en mal estado se comunicará la supervisión para su retiro e informe correspondiente. 1.2. Uso de EPP básico (casco, lentes, chaleco, guantes y zapatos de seguridad). 1.3. Capacitación en uso de herramientas manuales. 1.4. Registro de inspección mensual. 1.5. Personal capacitado y entrenado. 1.6. La instalación se debe de realizar entre dos personas. 2.1. No exceder los 25 kg de peso en hombres o 15 en mujeres. 2.2 Capacitación sobre ergonomía. 2.3. cumplir con el estándar HSE 2.25 Manejo manual de materiales. 3.1. El personal debe contar con su carnet de SUCAMEC. 3.2. Contar con las Hojas MSDS en el lugar de trabajo. 3.3. Uso de respirador de media cara con cartuchos contra polvo y gas durante la manipulación. 3.4. Considerar la posición ergonómica, no trasladar pesos mayores a 25 kg por persona, rotar de ubicación, pausas activas para evitar fatiga muscular. 3.5. Se debe distribuir los explosivos y accesorios evitando golpearlos, pisarlos y arrastrarlos.	3	D	17

		3.6. Se debe descargar los explosivos y accesorios en el área de carguío dejando señalizado con conos amarillos por separado (5 metros como mínimo). 3.7. Se debe colocar los accesorios y explosivos en filas separado entre sí por los taladros.			
Trabajos de Gabinete (Análisis de fragmentación, videos de voladura, Vibraciones y VOD)	1. Iluminación deficiente, excesiva. 2. Fallas eléctricas en equipos. 3. Pantalla de visualización de datos (>4h por día) 4. Uso intensivo del teclado (digitación intensa) por más de 5 horas al día. 5. Monitor de computador mal ubicado: borde superior está por debajo de la altura de los ojos del trabajador sentado 6. Generación y disposición de Residuos (papel y cartones, plásticos, vidrios, generales, reaprovechables, peligrosos no reaprovechables e inflamables)	1.1. Reportar inmediatamente los ambientes bajos de iluminación y de excesiva iluminación. 1.2. Comunicar inmediatamente al supervisor cuando se presente falta de iluminación. 1.3. Controlar las fuentes de deslumbramiento. 1.4 Personal competente debe realizar el cambio de luminarias. 2.1. Contar con sistema puesta a tierra en las oficinas. 2.2. Capacitación de seguridad eléctrica en oficinas. 2.3. Señalización de riesgo eléctrico en fuentes de energía. 2.4. No sobre cargar los tomacorrientes. 2.5. Utilizar supresores de picos. 2.6. Al retirarse de oficinas apagar las luces y desenchufar todos los equipos eléctricos. 3.1. Uso de pantallas LED y/o LCD. 3.2. Uso de protectores de pantalla. 3.3. Graduación de luminosidad de la pantalla. 3.4. Descansar por cada hora de trabajo seguido al menos 5 minutos. 4.1. Considerar posición ergonómica. 4.2. Aplicar pausa activa para evitar fatiga muscular. 4.3 Uso de pad mouse con almohadilla acolchada 4.4. Dar una adecuada posición, altura a la silla, teclado y mouse. 4.5. Evitar uso de relojes, pulseras apretados. 5.1. Realizar un correcto posicionamiento del monitor. 5.2. Capacitación sobre ergonomía y/o correctas posturas en el trabajo. 5.3. Realizar pausas activas. 5.4. Uso de protector de pantalla, realizar un correcto ajuste del brillo. 5.5. Dar una correcta iluminación al lugar de trabajo 6.1. Colocar los residuos en el correspondiente contendor. 6.2. Capacitación en el manejo de residuos sólidos. 6.3. Uso de papel reciclado y acopio de papel reciclado.	2	D	21
Para todas las actividades de campo	1. Condiciones climáticas adversas: lluvias, neblina, tormentas eléctricas.	1.1 Uso de ropa impermeable, botas de jebe en caso de lluvia. 1.2 Uso de luces neblineros de las unidades (camionetas y camiones	3	D	**17**

	2. Material particulado (polvo). 3. Exposición a radiación UV (sol). 4. Ruido del entorno. 5. Terreno Irregular. 6. Residuos peligrosos (Explosivos y accesorios); Residuos comunes. 7. Hábitos incorrectos del personal (movimientos repetitivos)	furgón) 1.3 En caso de lluvias torrenciales se paralizan los trabajos de carguío. 1.4 Cumplir el estándar para tormentas eléctricas. 1.5 Uso de radio de comunicación para recibir el estado de alertas. 1.6 Contar con vehículos suficientes para el personal en el lugar de trabajo para ser usados como refugio en caso de tormenta eléctrica manteniendo sus puertas y ventanas cerradas. 1.7 Cuando se presente alerta naranja se debe paralizar las actividades de voladura y se deberá trasladar a los vigías a sus puntos establecidos en el plano del radio de influencia. 1.8 Cuando se presente alerta roja se detienen las actividades de voladura y se refugia el personal en unidades vehiculares y se cierran los accesos con las unidades vehiculares en los puntos de vigía establecidos en el plano de radio de influencia. 1.9 En el pre Meeting se planifica la cantidad de unidades que se utilizará cuando se presente alerta roja. 1.10 En caso se presente lluvias el personal debe colocarse su ropa de agua correspondiente. 2.1. Uso de respirador de media cara de doble vía con filtros contra polvo y gases. 3.1. Uso de bloqueador solar FPS 50. 3.2. Uso de tapasol, ropa manga larga, tomar líquido para evitar deshidratación y uso de lentes oscuros. 4.1. Uso de orejeras y/o tapones auditivos. 5.1. Transitar por senderos despejados, libres de obstáculos, identificar niveles y desniveles, no correr dentro de áreas del proyecto. 6.1. Todos los residuos generados en el trabajo de voladura se dispondrán en los correspondientes contenedores que se encuentran ubicados en los polvorines de acuerdo al tipo de residuo generado y el código de colores que corresponda. 6.2. Cuando se acumulen los residuos en los contenedores se coordinará el traslado de los residuos hacia el DTR de la empresa Disal donde se entregarán los residuos generados en los trabajos. 6.3. Todos los envases que albergaron explosivos o accesorios se desecharan como materiales peligrosos, se colocaran en los vehículos furgón, se transportarán y se colocaran en los contenedores de materiales peligrosos instalados en los polvorines, luego que se acumulen los residuos se procederá a trasladar en los vehículos furgón hacia			

		el DTR de la empresa Disal como producto peligroso. 6.4. Los residuos generados en los proyectos de voladura, oficinas serán dispuesto en las estaciones de segregación ubicados en oficinas de Enaex y Polvorines. 6.5. Uso de EPP básico (casco, lentes, chaleco, guantes y zapatos de seguridad) 7.1. Posturas correctas para levantar peso. 7.2. No cargar más de 25 Kg en Varones y 15 Kg en damas.			

Nota: Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro PET / JSA Medición de VOD - Enaex.

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA PARA TESIS AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DEL ACCESO ABIERTO DE LA UNAM

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNAM aprobada mediante la Resolución de C.O. N° 0158-2016-UNAM.

1. DATOS PERSONALES DEL AUTOR

Apellidos y Nombres:	Vargas Almirón Juan Javier
D.N.I.:	45525700
Otro Documento:	
Nacionalidad:	Peruana
Teléfono:	959764134
e-mail:	jjvargas14@hotmail.com

2. DATOS ACADÉMICOS

Escuela Profesional:	Ingeniería de Minas
Grado Académico otorgado:	Bachiller en Ingeniería de Minas
Título Profesional otorgado:	Ingeniero de Minas
Tesis (Pregrado y/o Postgrado):	Pregrado
Modalidad de Titulación:	Trabajo de suficiencia profesional

3. DATOS DE LA TESIS

Título de la tesis:	Voladura con iniciación pirotécnica, electrónica y aplicación de fracturamiento con plasma ejecutado por la empresa Enaex S.A. en áreas 3000...
Fecha de Sustentación:	17 de agosto del 2021
Calificación:	14
Año de Publicación:	2021

4. DATOS DEL ASESOR

Apellidos y Nombres:	Quispe Pérez Marcos Luis
D.N.I.:	00481742
Otro Documento:	
Nacionalidad:	Peruana
Teléfono:	999 850 052
e-mail:	mquispep@unam.edu.pe

5. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua para su explotación no exclusiva, ilimitada, perpetua y con alcance mundial, a favor de la Universidad Nacional de Moquegua.

Según el Reglamento de la Ley Nº 30035, Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto DECRETO SUPREMO N° 006-2015-PCM "TÍTULO IV GESTIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL Y DE LOS DATOS PERSONALES; *Artículo 10º.- De los Derechos: Esta cesión de derechos comprende, mas no se limita, a los derechos de reproducción, comunicación al público, distribución, traducción, adaptación, arreglo, edición, modificación, cambio de formato u otra transformación, importación al territorio nacional de copias por cualquier medio incluyendo la transmisión, así como cualquier otra forma de utilización de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo que no estén contempladas en la ley de la materia como excepción al derecho patrimonial y, en general, para cualquier tipo de utilización y explotación, que la entidad estime pertinentes, en cualquier forma o procedimiento, conocido o por conocerse, pudiendo poner a disposición las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo por medio de autorizaciones o licencias a favor del público en general."*

Sin perjuicio de otras obligaciones a su cargo, EL AUTOR deberá entregar una versión digital final de la TESIS sin ninguna medida tecnológica efectiva ni sistema de auto tutela, sin contraseña ni restricción, de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) en relación con el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto. Cuando las obras contengan en parte o consistan en programas de ordenador o software, además deberá entregar el código fuente, código objeto, documentación técnica y manuales. Lo dispuesto en relación con los programas de ordenador no se aplicará cuando la entidad pública sea sólo licenciataria del software.

Para facilitar la divulgación y alcance nacional e internacional de los resultados de las investigaciones en materia de ciencia, tecnología e innovación contenidos en los repositorios institucionales y en el Repositorio Nacional Digital, se autoriza la traducción automática a otros idiomas y dialectos por medio de programas de ordenador de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo, así como de los metadatos de los mismos. En caso de ser fijadas o reproducidas, se deberá incluir expresamente que se trata de traducciones hechas por medios informáticos, con fines ilustrativos o referenciales.

Firma y huella digital: _____



Fecha de autorización: 08-09-2021