

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**

**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**TESIS**

**Análisis de vibraciones inducidos por el uso de plasma en la  
fragmentación de rocas en el proyecto óxidos Insitu Compañía Minera**

**Volcan – E.A. óxidos de Pasco S.A.C.**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero de Minas**

**Autor: Bach. Isaac CHÁVEZ NAVARRO**

**Asesor: Mg. Nieves Oswaldo GORA TUFINO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**

**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**TESIS**

**Análisis de vibraciones inducidos por el uso de plasma en la  
fragmentación de rocas en el proyecto óxidos Insitu Compañía Minera  
Volcan – E.A. óxidos de Pasco S.A.C.**

---

**Dr. Ricardo CABEZAS LIZANO**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Joel OSCUVILCA TAPIA**  
**MIEMBRO**

---

**Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Benjamín y Esther, por su apoyo incondicional en mi formación profesional y la de mis hermanos.

## **RECONOCIMIENTO**

Con gratitud y lealtad a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión especialmente a los Docentes que conforman la Facultad de Ingeniería de Minas, por su apoyo constante en mi formación profesional.

Al asesor de este proyecto, quien aceptó guiarme en el desarrollo y realización de la presente tesis.

Agradecido por la oportunidad que me brindó la empresa Enaex en mi desarrollo profesional, fruto del cual es la presente tesis.

Finalmente agradezco a mis padres y hermanos, por su constante apoyo en lo personal y académico, sin ellos, difícilmente hubiese podido lograr lo alcanzado ni poder sobrellevar los años anteriores. A mi Lizbeth por todo el amor que me han entregado, paciencia, apoyo y comprensión, durante todos estos años que hemos estado juntos.

## RESUMEN

Le presente tesis describe los resultados del modelamiento y monitoreo de las vibraciones inducida por el uso de plasma en la fragmentación de rocas. La utilización de esta tecnología genera vibraciones que, en algunas circunstancias pueden originar daños en las estructuras próximas al lugar de explotación. El presente informe tiene por objetivo describir y explicar los últimos avances para el control eficiente de los daños inducidos por la fragmentación de rocas, para lo cual se ha recopilado la información necesaria y actualizada para este fin. Estos resultados que se obtendrán serán modelados con los diferentes criterios de daño, y de este modo reducir los efectos producidos de acuerdo con los monitoreos y con las normas internacionales, Para evitar que se pueda causar daño a las estructuras frágiles. Por esto se considera necesario establecer límites de vibración ajustados a las condiciones de las viviendas cercanas al proyecto.

**Palabras Clave:** Fragmentación de rocas, límites de vibración.

## ABSTRACT

This thesis describes the results of the modeling and monitoring of vibrations induced by the use of plasma in rock fragmentation. The use of this technology generates vibrations that, in some circumstances, can cause damage to the structures near the place of exploitation. The purpose of this report is to describe and explain the latest advances for the efficient control of the damage caused by rock fragmentation, for which the necessary and updated information has been compiled for this purpose. These results that will be obtained will be modeled with the different damage criteria, and in this way reduce the effects produced in accordance with the controls and with international standards, to avoid damage to fragile structures. For this reason it is considered necessary to establish vibration limits adjusted to the conditions of the houses established to the project.

**Keywords:** Fragmentation rocks, vibration limits.

# INTRODUCCIÓN

Una de las principales operaciones del ciclo de minado es la voladura que tiene por finalidad de reducir la roca a un tamaño óptimo para ser procesado, y para ello se emplean una variedad de explosivos. La dificultad que hoy atraviesa la minería son los problemas sociales asociados a los impactos ambientales y el aumento de las exigencias para mitigar los efectos propios de las voladuras con explosivos en zonas urbanas. Ante esto, es necesario optar por otras alternativas que permitan mitigar estos impactos. En ese sentido COMPAÑÍA MINERA VOLCAN para continuar con sus operaciones en el Proyecto Óxidos Insitu, emplea el uso de tecnología no explosiva (Plasma), con la finalidad de asegurar la continuidad operativa.

La presente tesis tiene como objeto realizar el estudio del monitoreo de vibraciones e interpretar, modelar, analizar y evaluar sus efectos a las viviendas cercanas al proyecto y al talud, a fin de cuantificar el daño generado por el uso de plasma en la fragmentación de rocas en el Proyecto Oxidos Insitu.

La tesis está estructurada en cuatro capítulos:

CAPITULO I, trata del problema de la investigación.

CAPITULO II, desarrolla el marco teórico.

CAPITULO III, describe la metodología y técnicas de investigación.

CAPITULO IV, trata de los resultados y la discusión de la investigación.

**Isaac Chávez Navarro**

**Autor**

V

# INDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO I..... 1

PROBLEMA DE INVESTIGACION ..... 1

1.1 Identificación y determinación del problema ..... 1

1.2 Delimitación del problema..... 2

1.3 Formulación de problema ..... 2

1.3.1 Problema general ..... 2

1.3.2 Problemas específicos ..... 2

1.4 Formulación de objetivos..... 3

1.4.1 Objetivo general ..... 3

1.4.2 Objetivos específicos..... 3

1.5 Justificación de la investigación ..... 3

1.6 Limitaciones de la investigación..... 4

CAPITULO II..... 5



Marco teórico.....	5
2.1 Antecedentes de estudio.....	5
2.1.1 Fragmentación de roca con plasma .....	6
2.2 Bases teóricas - científicas .....	8
2.2.1 Fracturador de plasma .....	8
2.2.2 Vibraciones.....	9
2.2.3 Interpretación de ondas.....	14
2.2.4 Modelos de determinación de la velocidad pico de partícula (PVV).....	15
2.2.5 Modelo de Campo Lejano .....	16
2.2.6 Criterio de Devine .....	18
2.2.7 Criterio de daño .....	18
2.2.8 Normas Internacionales .....	21
2.3 Definición de términos básicos.....	22
2.4 Formulación de hipótesis .....	24
2.4.1 Hipótesis general .....	24
2.4.2 Hipótesis específica .....	24
2.5 Identificación de Variables .....	24
2.5.1 Variable independiente.....	24
2.5.2 Variable dependiente .....	24
2.6 Definición operacional de variables e indicadores .....	25
2.6.1 Operacionalización de variables.....	25

Variable independiente.....	25
Variable dependiente.....	25
CAPITULO III .....	26
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	26
3.1 Tipo de investigación.....	26
3.2 Método de investigación.....	26
3.3 Diseño de la investigación .....	26
3.4 Población y muestra.....	27
3.4.1 Población .....	27
3.4.2 Muestra .....	27
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	27
3.5.1 Primera etapa trabajo de campo .....	27
3.5.2 Segunda etapa trabajos en gabinete .....	28
3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	28
3.7 Tratamiento estadístico .....	28
3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación...28	
3.8.1 Procedimiento de validación .....	28
3.8.2 Diseño de la validación y confiabilidad del instrumento de recolección de datos	29
3.9 Orientación ética.....	29
CAPITULO IV .....	30

RESULTADOS Y DISCUSION .....	30
4.1 Descripción del trabajo de campo.....	30
4.1.1 Descripción de método de descarga de alto voltaje (pav) .....	30
4.1.2 Etapas para la fragmentación de rocas con plasma .....	33
4.1.3 Etapa de Iniciación .....	39
4.1.4 Instrumentación para registro de vibraciones.....	41
4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	44
4.2.1 Trabajo de gabinete .....	44
4.2.2 Análisis vibracional del uso de plasma en la fragmentación de rocas .....	45
4.2.3 Modelo determinístico.....	52
4.2.4 Análisis de campo lejano con datos de campo .....	54
4.2.5 Interpretación del análisis de vibraciones.....	60
4.2.6 Zona critica de monitoreo.....	60
4.2.7 Diseños de anteproyecto.....	61
4.3 Prueba de hipótesis .....	73
4.3.1 Planteamiento: .....	73
4.3.2 Conclusión.....	75
4.3.3 Daño a las viviendas cercanas al proyecto .....	75
4.3.4 Criterio de daño al talud .....	78
4.3.5 Diseño de malla de perforación .....	79
4.4 Discusión de resultados .....	80

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Comparación de sistemas de iniciación.....	6
Tabla 2. 2 Composición de capsulas de plasma .....	9
Tabla 2. 3 Variabilidad en los parámetros del modelo de vibración, devine, para diferentes minas y macizos rocosos. ....	17
Tabla 2. 4 Criterio de daño de Hooke and Bray .....	19
Tabla 2. 5 Criterio de daño de Oriard.....	19
Tabla 2. 6 Niveles de daño .....	20
Tabla 2. 7 Estimación de la velocidad de la partícula crítica teórica .....	21
Tabla 2. 8 Normas internacionales .....	21
Tabla 2. 9 Operacionalización de variables.....	25
Tabla 4. 1 Características capsula PRIMALFRACT .....	33
Tabla 4. 2 Muestras de roca.....	45
Tabla 4. 3 Compresión simple en rocas ASTM D2938.....	46
Tabla 4. 4 Gravedad específica, absorción y densidad de la roca .....	46
Tabla 4. 5 Módulos elásticos .....	46

Tabla 4. 6 Formato mapeo por celdas .....	47
Tabla 4. 7 Datos para hallar la VPPc.....	49
Tabla 4. 8 Niveles de daño VPPc .....	50
Tabla 4. 9 VPPc Para muestra M1 .....	51
Tabla 4. 10 VPPc para muestra M5 .....	51
Tabla 4. 11 VPPc para muestra M6.....	51
Tabla 4. 12 Criterio de campo lejano de Devine con datos de campo .....	52
Tabla 4. 13 Análisis de datos para el modelamiento de campo lejano de devine muestra m1 .....	54
Tabla 4. 14 Análisis de datos para el modelamiento de campo lejano de devine muestra M6.....	58
Tabla 4. 15 Parámetros diseño de anteproyecto PYO-ZM-12-100319 .....	62
Tabla 4. 16 Parámetros de monitoreo anteproyecto PYO-ZM-12-100319 .....	63
Tabla 4. 17 Parámetros diseño de ANTEPROYECTO PYO-ZM-47-050619 .....	67
Tabla 4. 18 Parámetros de monitoreo anteproyecto PYO-ZM-47-050619 .....	69
Tabla 4. 19 Niveles de daño NORMA DIN 4150 .....	76
Tabla 4. 20 Base de datos de registro de vibraciones.....	77
Tabla 4. 21 Cuadro de registro de vibraciones .....	78

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Sistema de iniciación de plasma .....	6
Figura 2. 2 Capsula de plasma.....	8
Figura 2. 3 Onda de propagación .....	10
Figura 2. 4 Tipos de ondas .....	10
Figura 2. 5 Ondas internas y superficiales.....	11
Figura 2. 6 Componente de una onda.....	12
Figura 2. 7 Ciclo de esfuerzo sobre la roca, compresión seguida por tensión .....	13
Figura 2. 8 Señales de vibraciones típicas.....	14
Figura 2. 9 Señales de vibraciones típicas.....	15
Figura 3. 1Diseño de la investigación .....	26
Figura 4. 1 Diagrama de inicialización Enaex.....	30
Figura 4. 2 Acumulador eléctrico .....	31
Figura 4. 3 Generador eléctrico .....	31
Figura 4. 4 Equipo multitestster .....	32
Figura 4. 5 Cápsulas de plasma PRIMALFRACT .....	32
Figura 4. 6 Equipo de perforación SOOSAN .....	35
Figura 4. 7 Equipo de perforación JUNJIN.....	36
Figura 4. 8 Medición de profundidad real vs teórica.....	36
Figura 4. 9 Carguío de taladros con capsulas PRIMALFRACT .....	37
Figura 4. 10 Tipo de taco y método de retacado .....	38
Figura 4. 11Test de continuidad de cargas .....	38

Figura 4. 12 Amarre de circuito .....	39
Figura 4. 13 Instalación de troncales al equipo acumulador .....	40
Figura 4. 14 Tendido de cables troncales .....	40
Figura 4. 15 Equipo Instantel Minimate Plus .....	42
Figura 4. 16 Orientación del traductor de vibración.....	42
Figura 4. 17 Fijación del traductor de vibración .....	43
Figura 4. 18 Instalación completa del sismógrafo.....	44
Figura 4. 19 Ventana de inicio software Blastware.....	44
Figura 4. 20 Base de datos de registro de vibraciones .....	45
Figura 4. 21 Ubicación del Proyecto Óxidos Insitu .....	61
Figura 4. 22 Diseño de anteproyecto PYO-ZM-12-100319.....	62
Figura 4. 23 Resultados de la fragmentación PYO-ZM-12-100319 .....	66
Figura 4. 24 Diseño de anteproyecto PYO-ZM-47-050619.....	67
Figura 4. 25 Resultados de la fragmentación PYO-ZM-47-050619 .....	73
Figura 4. 26 Control de daño al talud .....	79

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 4. 1 modelamiento del campo lejano de devine con datos de campo.....	53
Gráfico 4. 2 Niveles de daño modelamiento de campo lejano de devine muestra M1 ..	55
Gráfico 4. 3 Análisis de datos para el modelamiento de campo lejano de Devine muestra M5.....	56
Gráfico 4. 4 Niveles de daño modelamiento de campo lejano de devine muestra M5 ..	57
Gráfico 4. 5 Niveles de daño modelamiento de campo lejano de devine muestra M6 ..	59
Gráfico 4. 6 Resultados de monitoreo de vibraciones anteproyecto PYO-ZM-12-100319 .....	65
Gráfico 4. 7 Resultados de frecuencias anteproyecto PYO-ZM-12-100319.....	66
Gráfico 4. 8 Resultados de monitoreo de vibraciones anteproyecto PYO-ZM-47-050619 .....	71
Gráfico 4. 9 Resultados de frecuencias anteproyecto PYO-ZM-47-050619.....	72
Gráfico 4. 10 Niveles de daño NORMA DIN 4150 .....	76
Gráfico 4. 11 Niveles de daño .....	78



## **INDICE DE PLANOS**

Plano 4. 1 Ubicación del Proyecto Óxidos Insitu.....	60
Plano 4. 2 Ubicación zona anteproyecto PYO-ZM-12-100319 .....	63
Plano 4. 3 Ubicación zona anteproyecto PYO-ZM-47-050619 .....	69

## **INDICE DE ANEXOS**

Anexo I Base de datos .....	1
Anexo II Cuadro de análisis de registro de vibraciones .....	1
Anexo III Equipo de monitoreo – Instatel Minimate Plus .....	1
Anexo IV Registro de vibraciones PYO-ZM-12-100319 .....	1
Anexo V Registro de vibraciones PYO-ZM-47-050619.....	1
Anexo VI Diseño de Anteproyecto PYO-ZM-12-100319 .....	1
Anexo VII Diseño de Anteproyecto PYO-ZM-47-050619 .....	1
Anexo VIII Diagrama de Flujo Operación de Perforación y Voladura.....	1

# CAPITULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACION

### 1.1 Identificación y determinación del problema

La minería hoy en día atraviesa un desafío mayor debido a problemas por conflictos sociales y ambientales, para esto es necesario buscar alternativas que permita la continuidad operativa en zonas críticas.

Existe una preocupación constante, especialmente cuando se tienen que efectuar voladuras de rocas cercanas a chancadoras, plantas, oficinas, construcciones, comunidades etc. En este caso la Compañía Minera Volcán utiliza plasma como alternativa para la fragmentación de rocas en sus operaciones, debido a que no cuenta con permisos para el uso de explosivos ya que se encuentra en una zona crítica por problemas sociales y ambientales.

Minimizar los efectos de las vibraciones inducidas por la fragmentación de rocas es uno de los retos principales a los que se enfrentan los directivos de la Compañía Minera Volcán para lo cual se debe controlar la energía calculando la cantidad exacta de plasma que se utilizara para evitar que los efectos por vibraciones ocasionen daños a las viviendas. A partir de esto planteo la siguiente interrogante: ¿Que daños pueden generar a las estructuras de las viviendas circundantes las vibraciones generadas por el uso del plasma en la fragmentación de rocas?

## **1.2 Delimitación del problema**

Mantener la continuidad operativa de los proyectos mineros en zonas críticas de explotación depende mucho de minimizar los impactos producidos en el entorno. Las vibraciones es uno de los principales impactos que se producen por el uso de explosivos. Ante este escenario la Compañía Minera Volcan utiliza Plasma como alternativa para la fragmentación de rocas en sus operaciones en el proyecto Óxidos Insitu. A partir de esto surge la necesidad de realizar un análisis de las vibraciones que se generan por el uso de esta tecnología, con la finalidad de evitar impactos negativos con la sociedad y el medio ambiente.

## **1.3 Formulación de problema**

### **1.3.1 Problema general**

¿Cómo influye las vibraciones inducidos por el uso de plasma en la fragmentación de rocas en el Proyecto Óxidos Insitu de Compañía Minera Volcan?

### **1.3.2 Problemas específicos**

- A. ¿Cómo un modelo predictivo de vibraciones puede evitar los daños a las estructuras de las viviendas en el Proyecto Oxidos Insitu en Volcan Compañía Minera?
- B. ¿Cómo influye un diseño de perforación y fragmentación para minimizar los efectos de las vibraciones?

## **1.4 Formulación de objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar las vibraciones inducidos por el uso de plasma en la fragmentación de rocas para minimizar los daños a las estructuras de las viviendas cercanas al Proyecto Oxidos Insitu en Volcan Compañía Minera.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- A. Elaborar un modelo predictivo de vibraciones en base al análisis para evitar daños a las estructuras de las viviendas cercanas al proyecto.
- B. Establecer un diseño de perforación y fragmentación mediante de acuerdo al modelo predictivo.

## **1.5 Justificación de la investigación**

La medición de las vibraciones ayuda a estimar la probabilidad de daño que puede sufrir las rocas y estructuras circundantes a la explotación. El monitoreo permite determinar la velocidad crítica en cada uno de los materiales del terreno, para conocer los límites máximos permisibles de vibración sin causar daño, esto se puede utilizar como una herramienta de diagnóstico, para definir el grado de interacción entre las variables de la fragmentación de rocas, así como predecir las vibraciones producidas por estallidos futuros.

La presente investigación permitirá dar a conocer el uso adecuado de la energía del plasma usado para la fragmentación de rocas, por medio de un estudio, establecer parámetros de diseño que se ajuste a las necesidades de la operación. Finalmente, la investigación persigue como objetivo contribuir con mitigar los impactos negativos con la comunidad.

## **1.6 Limitaciones de la investigación**

- A. Carencia de antecedentes sobre investigación referente a las vibraciones que genera el uso de plasma en la fragmentación de rocas.
- B. La disponibilidad de recursos limitados para la realización del estudio de investigación.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de estudio

No existen antecedentes de trabajos de investigación sobre el uso de plasma en explotación minera.

En 1960 el Instituto de Minas junto con el Instituto de Mecánica Teórica y Aplicada de Siberia, rama de la Academia de Ciencias de la ex URSS, comenzó el trabajo de fragmentación con plasma.

En 1990 en Corea del Sur el plasma fue importada como producto no explosivo por Dattatreya Inc, como alternativa fragmentación de rocas, debido a las normas con alta exigencia en cuanto a vibraciones, ruido y proyección de roca.

Una de principales características que permite aplicar plasma en la fragmentación de roca en zonas sensibles, es la escasa proyección de partículas de roca debido a la corta duración del pulso de presión que producen los gases ionizados, total o parcialmente, a altas temperaturas, en cuyo caso los gases se transforman rápidamente a fases más condensadas como líquidos o sólidos.

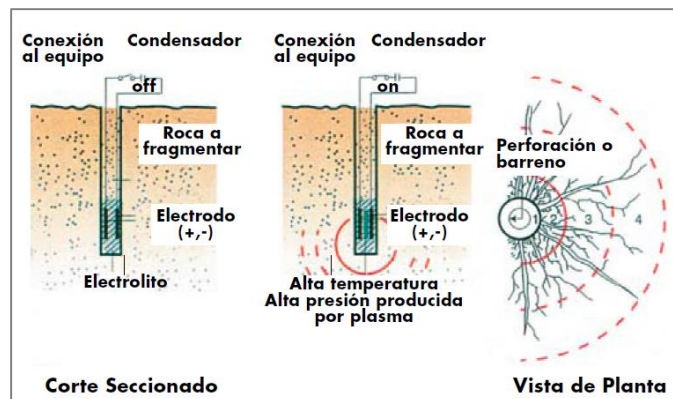
El método de Fragmentación de roca por plasma consiste en introducir en la roca un electrolito contenido en un cartucho, compuesto por aluminio, óxido de cobre y otros componentes reservados, en un taladro (o perforación) conectado con un electrodo a un equipo capacitador o condensador. Este condensador, que está conectado a un grupo generador, almacena gran cantidad de energía eléctrica (8.000 voltios) y la descarga en un milisegundo al electrolito, produciendo un plasma de alta temperatura y presión que

se expande y provoca la fragmentación de la roca. Esta energía se libera en forma instantánea a todas las perforaciones que están conectadas, generando una fuerza expansiva de 10.000 kg/cm<sup>2</sup> instantáneamente.

### 2.1.1 Fragmentación de roca con plasma

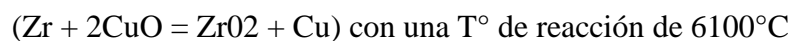
Basados en reacciones exotérmicas de Goldschmid (1893) este método que combina la reacción entre aluminio metálico y diferentes óxidos metálicos. Esta mezcla metálica es muy estable contra golpes, fricción y altas temperaturas la cual genera alta densidad de energía, elevada temperatura y variado rango en la producción de gases.

Figura 2. 1 Sistema de iniciación de plasma



#### 2.1.1.1 Métodos de iniciación

- Impulso térmico proveniente de una resistencia eléctrica incandescente.
- Impacto con láser.
- Arco eléctrico.
- Otra reacción termítica.



#### 2.1.1.2 Comparación de sistemas

Tabla 2. 1 Comparación de sistemas de iniciación

Comparación	Explosivo convencional	Plasma
Principio de funcionamiento	Explosión por gasificación de productos nitrosos	Polvos metálicos que se convierten en plasma, produciendo expansión instantánea de iones y gas
Propósito	Voladuras masivas	Áreas sensibles a vibraciones y ruido, voladura urbana
Vibración producida por 1 Kg: •Vibración a 30 m (mm/seg) •Ruido a 30 m (dB)	10 Sobre 85	1,1 68 a 72
Facilidades de manejo	Requiere permiso de autoridad fiscalizadora de armas y explosivos	No requiere permiso ya que no es explosivo
Contaminación y fly rock	Masiva producción de polvo, fly rock y gases tóxicos	Mínima producción de polvo, fly rock y gases tóxicos
Aspectos de seguridad	Los explosivos son muy sensibles al calor y choque	Polvos metálicos (Al y CuO) muy estable al calor y choque

(INGEOL, 2010)

### 2.1.1.3 Vibraciones

El sistema de fracturación de roca por plasma, produce bajas vibraciones. Un tema importantísimo en la excavación en roca controlada, donde se requieren proteger estructuras ya existentes, son las vibraciones que producen los métodos tradicionales con explosivos, aunque actualmente existen mejoras para efectuar voladuras controladas en vibraciones y proyecciones, persiste el problema de evacuación en grandes áreas, el ruido generado y un exhaustivo control de las posibles proyecciones de material. (Enaex, 2005)

Las vibraciones pueden ser representadas por el desplazamiento, velocidad o aceleración de las partículas que conforman el suelo o terreno.

Se ha establecido que la velocidad de la partícula constituye la mejor relación con los posibles daños que genere una voladura, este parámetro de velocidad de partículas puede ser entendido como la velocidad de movimiento de una partícula bajo el paso de una onda sísmica.



Se han establecido en forma experimental modelos o ecuaciones de vibración, que representan la velocidad de partícula, en función de la cantidad de explosivo detonado y distancia de la voladura al lugar a proteger.

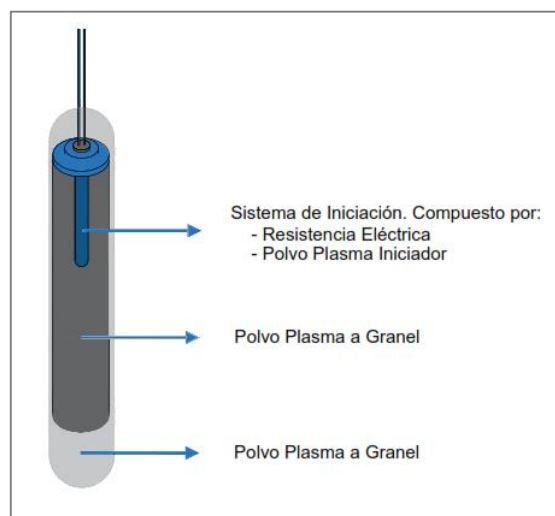
## 2.2 Bases teóricas - científicas

### 2.2.1 Fracturador de plasma

Es un producto no explosivo que desarrolla una reacción química de sus componentes con liberación de alta energía térmica que convierte los gases resultantes a un estado caótico de compuestos ionizados denominado Plasma.

Este fracturador plasma se presenta como cartuchos de plástico (cápsulas), con polvo de plasma y su resistencia incorporada en su interior.

Figura 2. 2 Capsula de plasma



#### 2.2.1.1 Composición de plasma

Es una mezcla de sales metálicas, sin componentes explosivos, capaz de iniciar una reacción termoquímica al suministrarle una chispa de alto voltaje, esta composición se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 2. 2 Composición de capsulas de plasma

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
<b>Denominación Química</b>	NaNO3	Al	FexOx	-
<b>Nombre Común</b>	Nitrato de sodio	Aluminio	Escama de metales ferrosos	otros
<b>Concentración</b>	20%-40%	5%-30%	20%-40%	0,3%-4%

### 2.2.2 Vibraciones

Las vibraciones son un movimiento cíclico que ocurre dentro de un medio, debido al paso de fases alternativas de compresión y tensión. Con respecto a las vibraciones por voladuras inducidas en la roca, se considera que la fractura se logra cuando el empuje de energía total entregada a la roca supera la propiedad intrínseca de la roca denominada Energía de Deformación (ED), generando una vibración y ruido bajo.

Generalmente las vibraciones producidas por el uso de explosivos son capaces de inducir deformación en el macizo rocoso del cual utilizaremos para nuestro estudio de vibraciones, a través de la siguiente relación:

$$\varepsilon = \frac{PPV}{V_p}$$

Donde,

$\varepsilon$  = deformación inducida.

PPV = velocidad pico partícula.

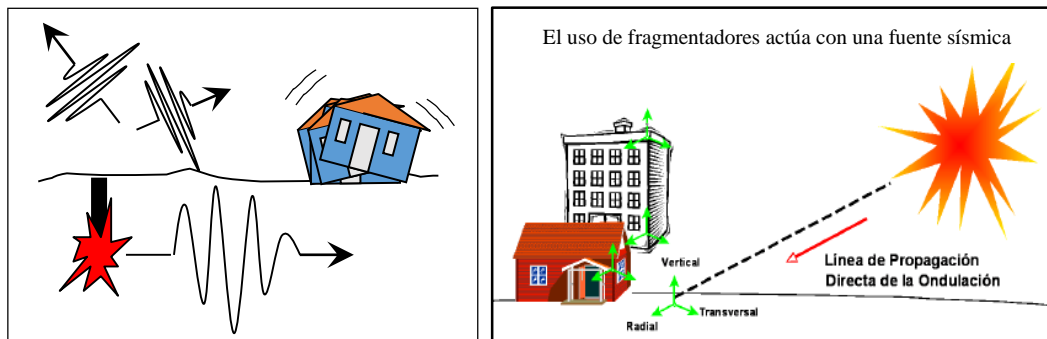
$V_p$  = velocidad de propagación de onda (característica de cada medio).

### 2.2.2.1 Característica de las Vibraciones

La onda de choque generada por la detonación de cargas explosivas (efecto de un foco sísmico), se propaga en forma esférica, y transfiere una energía vibracional al macizo rocoso, estructuras y aire.

Estas ondas sísmicas transmiten a la roca movimientos de partículas en distintas direcciones, con intensidades que dependerán del poder energético del explosivo y la geometría involucrada.

Figura 2. 3 Onda de propagación



### 2.2.2.2 Tipos de ondas

- A. Onda de Compresión (P): Consiste en una serie de movimientos de compresión y tensión, con oscilaciones de las partículas en la misma dirección de propagación.
- B. Onda Transversales (S): Consiste en oscilaciones de la partícula en forma transversal a la dirección de propagación de la onda.
- C. Onda Rayleigh (R o superficial): Son generadas en la superficie en respuesta a la interacción de las ondas p y s con la superficie.

Figura 2. 4 Tipos de ondas

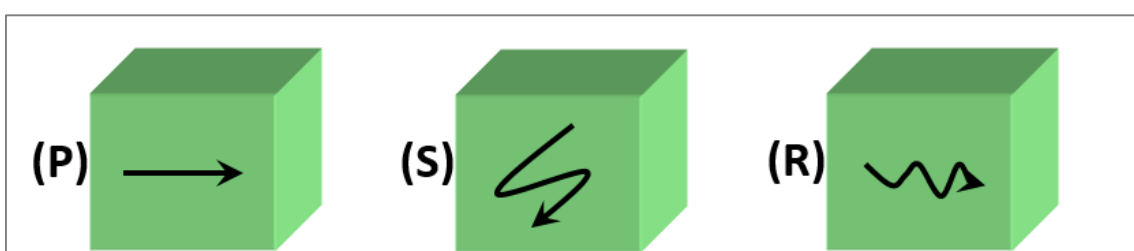
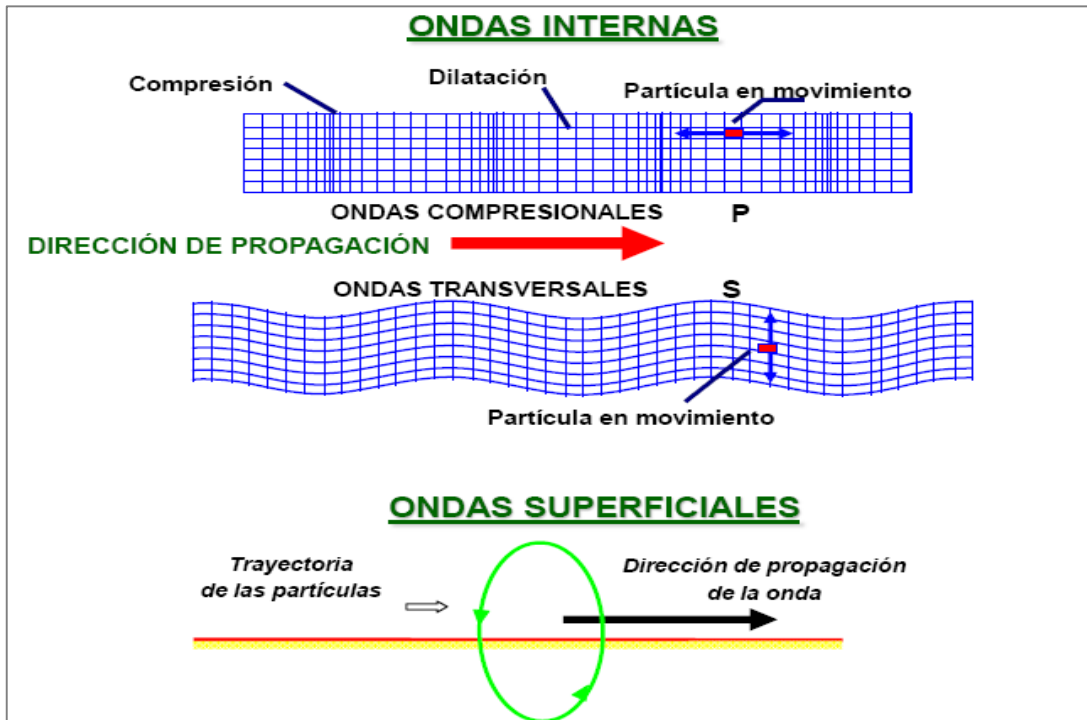


Figura 2. 5 Ondas internas y superficiales



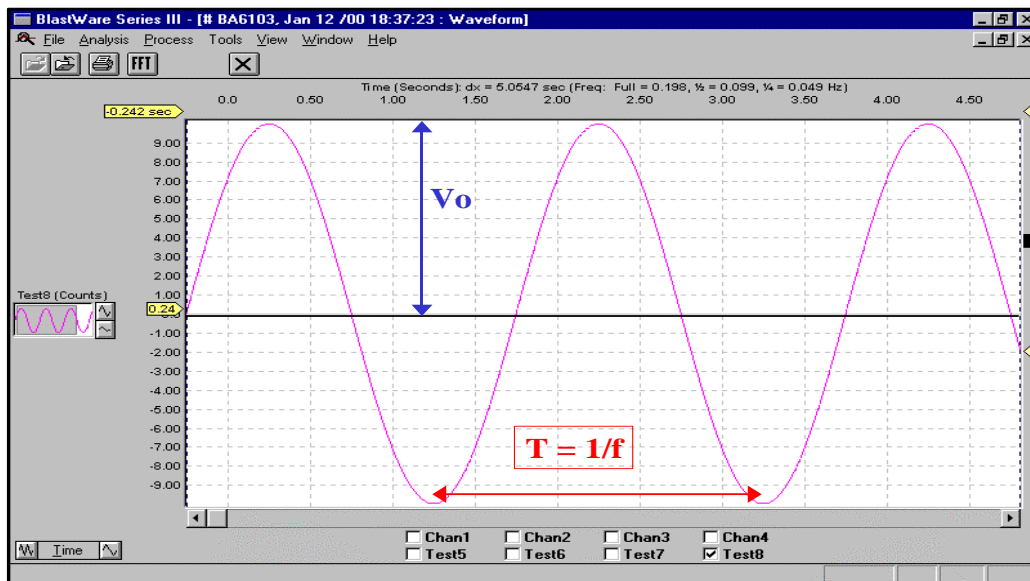
#### 2.2.2.2.1 Propiedades Básicas de las Ondas

Las propiedades básicas de propagación de ondas de vibraciones son:

- A. Frecuencia: Cuantos ciclos de compresión y tensión se transmiten por segundo.
- B. Amplitud: El máximo nivel de esfuerzo el cual el medio es expuesto (relacionado al movimiento de partículas individuales sujetas a esfuerzos).
- C. Duración: El tiempo total que el medio está expuesto a la vibración.
- D. Longitud de Onda: Distancia que viaja la onda en un ciclo completo de compresión y tensión.
- E. Velocidad de propagación: La velocidad con la cual la onda se mueve, distinta a la velocidad individual de movimiento de una partícula.

### 2.2.2.2.2 Componentes de una onda

Figura 2. 6 Componente de una onda



$$V = V_o \times \sin(\omega t)$$

$$D = \frac{V_o}{2\pi f} \times \cos(\omega t)$$

$$A = V_o \times 2\pi f \times \cos(\omega t)$$

Donde:

$V_o$  = Amplitud de la vibración (mm/s)

T = Periodo de la onda (ms)

f = Frecuencia de la onda ( $f=1/T$ ) (Hz)

D = Desplazamiento (mm)

A = Aceleración ( $m/s^2$ )

### 2.2.2.3 Frecuencia

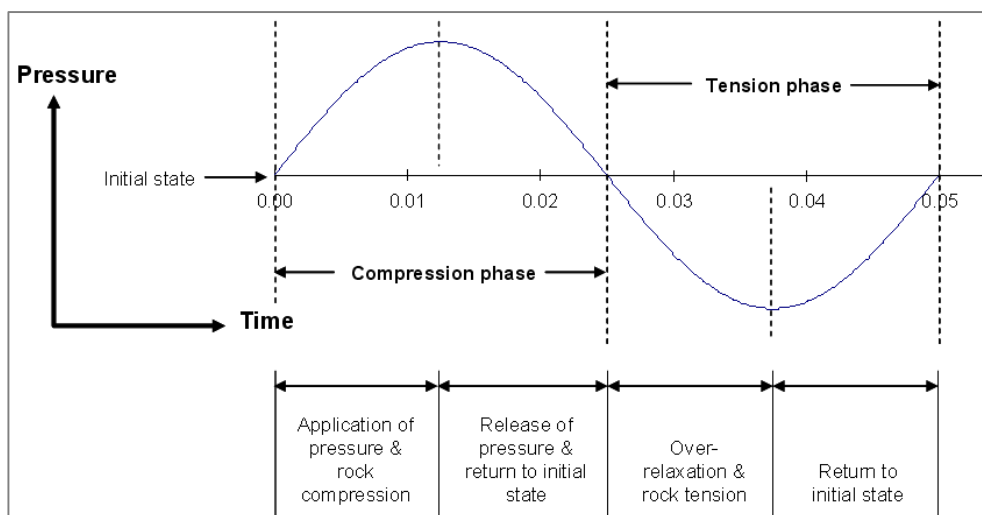
Indica el número de veces por segundo que la onda de propagación pasa por un ciclo completo de compresión y tensión.

El factor que tiene una gran influencia en esto es la dimensión de la carga, columnas grandes de carga tienden a producir bajas frecuencias.

Sin embargo, otros importantes factores incluyen los módulos de la roca y la razón de carga producida por la detonación (es decir la velocidad de detonación).

La complejidad de una onda de vibración generada por una voladura, requiere de un análisis más riguroso de su frecuencia. Esto se puede llevar a cabo mediante un modelo matemático.

Figura 2. 7 Ciclo de esfuerzo sobre la roca, compresión seguida por tensión



Fuente: centro de innovación de tecnología de explosivos de ENAEX (Cintex)

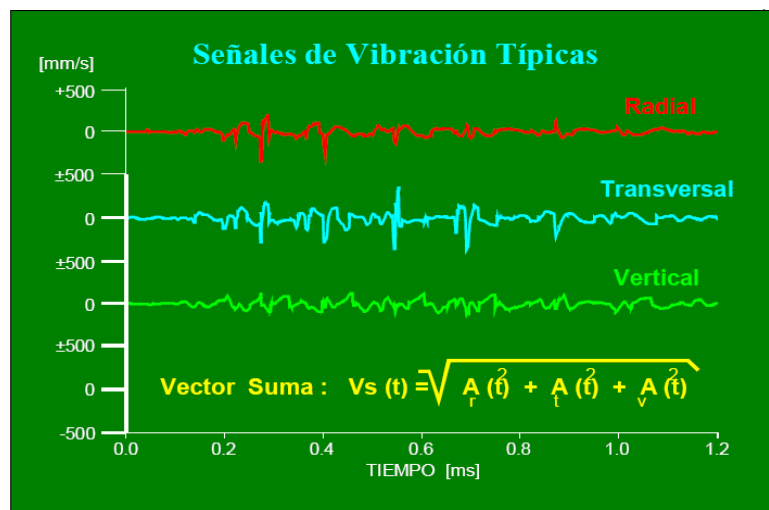
### 2.2.3 Interpretación de ondas

La vibración de cualquier material es la oscilación de las partículas en torno a su posición de equilibrio. En roca, la velocidad, periodo, amplitud y frecuencia de la oscilación pueden determinar para un tipo de roca si esta sufrirá daño o colapsará.

Un elemento importante en el proceso de evaluación y optimización de la operación de la voladura, es poder predecir a través de un modelo, las consecuencias y beneficios al introducir distintos cambios en los parámetros más relevantes, sin que ello deba necesariamente tener que realizarse a escala real (es recomendable para calibrar).

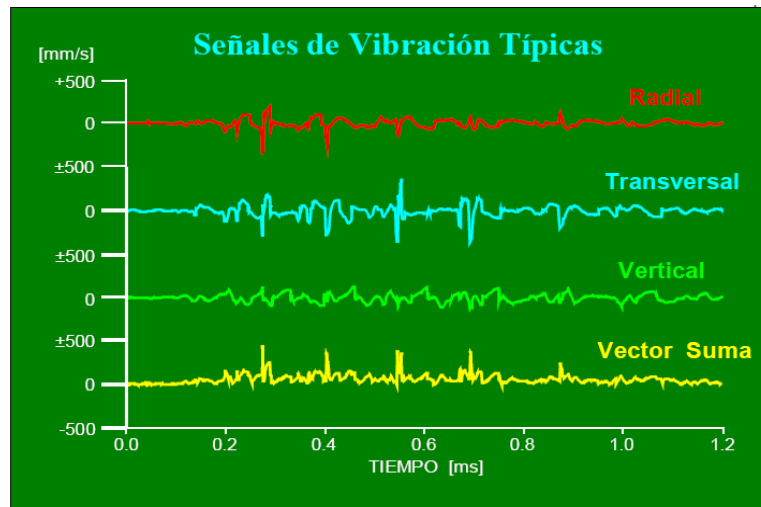
Se pueden distinguir diferentes enfoques asociados al modelamiento de vibraciones, los cuales tienen como objetivo final predecir los niveles de vibración (velocidad de partícula), en un punto específico de acuerdo a un diseño de voladura dado.

Figura 2. 8 Señales de vibraciones típicas



Fuente: centro de innovación de tecnología de explosivos de ENAEX (Cintex)

Figura 2. 9 Señales de vibraciones típicas



Fuente: centro de innovación de tecnología de explosivos de ENAEX (Cintex)

#### 2.2.4 Modelos de determinación de la velocidad pico de partícula (PVV)

A partir de muchos experimentos se han establecido modelos que describen la velocidad pico partícula (VPP), en función de la carga detonada por retardo y a la distancia entre cada detonación y el punto de registro.

##### 2.2.4.1 Modelo General

$$VPP = K \times D^\alpha$$

Dónde:

V = Velocidad de partícula (mm./s)

D = Distancia escalar

K = Factor de amplitud

$\alpha$  = Factor de decaimiento



El término D o distancia escalar, da cuenta de la influencia de la distancia en (m), y la cantidad de explosivo (Kg.).

#### 2.2.4.2 Modelo de DEVINE

$$VPP = K \times \left[ \frac{D}{W^{1/2}} \right]^{\alpha}$$

Dónde:

VPP = Velocidad de propagación de partícula

K = Constante de propagación del medio.

$\alpha$  = Constante de atenuación del medio (Propiedades de Rx in-situ).

D = Distancia del foco al transductor.

W = Peso de la carga explosiva en Kg. (eq. de Anfo x retardo)

#### 2.2.5 Modelo de Campo Lejano

Se define campo lejano cuando la distancia (d) es mayor a tres veces la longitud de carga (LC) ( $d > 3LC$ ). Este criterio es el que mejor representa el comportamiento de la vibración para el campo lejano ( $> 3LC$ ) también se debe tener las siguientes consideraciones:

- A. El parámetro  $\alpha$  en la ecuación de Devine está controlado por la geometría del frente de onda en expansión, y el coeficiente de atenuación de la roca.
- B. El valor de K está controlado principalmente por el explosivo y la eficiencia con la cual la presión de detonación es transmitida a la roca circundante como un esfuerzo.

Tabla 2. 3 Variabilidad en los parámetros del modelo de vibración, devine, para diferentes minas y macizos rocosos.

Factor de Amplitud K	Factor de Atenuación Alfa	Factor de Amplitud K	Factor de Atenuación Alfa
597	-2.34	99	-2.33
500	-2.11	227	-1.60
321	-2.39	499	-2.01
495	-2.12	175	-1.63
262	-2.28	112	-1.94
284	-1.72	428	-2.49
481	-1.74	168	-1.54
299	-2.48	703	-2.21
597	-2.32	177	-2.04
<b>K Máximo =</b>	<b>703</b>	<b>Alfa Máximo =</b>	<b>-2.49</b>
<b>K Mínimo =</b>	<b>99</b>	<b>Alfa Mínimo =</b>	<b>-1.54</b>
<b>K Promedio =</b>	<b>357</b>	<b>Alfa Promedio =</b>	<b>-2.07</b>

Fuente: “Monitoreo y modelamiento de vibraciones para la evaluación y optimización de las voladuras de desarrollo horizontal” APS Blastronic.

Como se ha mencionado, los modelos de vibraciones que permitan predecir el nivel de vibraciones se pueden determinar a partir de mediciones de terreno, de estas mediciones se deben obtener principalmente tres antecedentes, a saber:

- A. El nivel de vibraciones que genera la detonación de una carga de explosivo.
- B. La cantidad de explosivo que genera cierto nivel de vibraciones.
- C. La distancia a de la carga al punto a la cual se mide el nivel de vibraciones.

Para estimar el nivel de vibración VPP, a cualquier distancia D desde una voladura que contiene un peso W de explosivo, se usa una ecuación de carga escalar.

Donde K,  $\alpha$  y  $\beta$  son constantes específicas del lugar.

Devine establece  $\beta = 2\alpha$ , luego,

$$VPP = K \times D^\alpha \times W^\beta$$

### 2.2.6 Criterio de Devine

$$VPP = K \times \left[ \frac{D}{W^{1/2}} \right]^\alpha$$

Dónde:

VPP = Velocidad de propagación de partícula

K = Constante de propagación del medio.

$\alpha$  = Constante de atenuación del medio (Propiedades de Rx in-situ).

D = Distancia del foco al transductor.

W = Peso de la carga explosiva en Kg. (eq. de Anfo x retardo)

### 2.2.7 Criterio de daño

Cuando se tiene conocimiento de niveles límites de daño (sea en términos de amplitud, frecuencia o ambos), la medición nos permite revisar o chequear nuestra realidad en términos de la influencia de voladuras.

Con datos suficientes (en cantidad y calidad) el modelamiento predictivo de niveles de vibración se transforma en una herramienta de gran ayuda.

#### 2.2.7.1 Medición de respuestas de estructuras a cargas de vibración

Se debe medir vibraciones inducidas por la fragmentación de rocas por los siguientes motivos:

- a. Estructuras distintas responden en maneras distintas a distintas cargas vibracionales.
- b. Estructuras de acero
- c. Equipos mayores (chancadoras y molinos)

- d. Estructuras de valor histórico (edificios, puentes, etc.)
- e. Es factible detectar y aislar aquellas frecuencias críticas las cuales promueven una respuesta estructural no deseada, y trabajar para eliminarlas.

### 2.2.7.2 Criterios de daño en taludes

Tabla 2. 4 Criterio de daño de Hooke and Bray

Forma de daño	Velocidad de partícula (mm/s)
Quiebre de roca	2500
Inicio de quiebre	650
Caída de rocas en galerías no revestidas	300
Daño menos, agrietamiento de teso o estuco	130

Tabla 2. 5 Criterio de daño de Oriard

Forma de daño	Velocidad de partícula (mm/s)
Caída ocasional de roca suelta	5 - 100 mm/s
Caída de secciones de roca parcialmente suelta	130 - 380
Daño a rocas poco competentes	>600
Daño significativo a rocas competentes	>2500

### 2.2.7.3 Estimación de la velocidad de la partícula crítica teórica

La velocidad de partícula es relacionada frecuentemente con su potencial para generar nuevo fracturamiento, a través de la relación entre velocidad de partícula y deformación de partícula, esto válido para una condición de roca confinada en la vecindad inmediata a las cargas explosivas, donde el impacto es más intenso y los niveles de esfuerzos inducidos son similares a los necesarios para fragmentar la roca. Dada esta deformación, es que el análisis de velocidad de partícula tiene la cualidad de ser un buen método para estimar el grado de fracturamiento inducido.

$$\varepsilon = \frac{PPV}{V_p}$$

PPV = Velocidad de partícula

$\varepsilon$  = Deformación inducida

Vp = Velocidad de onda de compresión

De la ley de Hooke y asumiendo un comportamiento elástico de la roca, la VPPc que puede ser soportada por la roca antes de que ocurra el fallamiento por tensión, es estimada conociendo la resistencia a la tracción, el módulo de Young y utilizando la siguiente ecuación.

$$VPP_{critico} = \frac{\sigma_t \times V_p}{E} \cong \frac{UCS \times V_p}{12 \times E}$$

Tabla 2. 6 Niveles de daño

CRITERIO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO
> 4 * PPVcritico	Intenso fracturamiento
> 1 * PPVcritico	Creacion de nuevas fracturas
> 1/4 * PPVcritico	Leve propagacion fracturas pre-existentes

Los niveles de velocidad de partícula crítica entregados en la tabla anterior, pueden diferir de los valores encontrados en la literatura. Esta diferencia refleja la gran importancia que tiene establecer para cada tipo de macizo los límites de daño, los que están directamente relacionados con las propiedades geomecánicas y por lo tanto deben ser estimadas en forma independiente no solo en cada mina si no en cada dominio geomecánico de la misma.

En la siguiente tabla muestra las propiedades y VPPc para los diferentes tipos de roca.

Tabla 2. 7 Estimación de la velocidad de la partícula crítica teórica

TIPO DE ROCA	Resistencia a la Tracción [MPa]	Velocidad de Onda P [m/s]	Módulo de Young [GPa]	Velocidad de Partícula Crítica PPVc [mm/s]
Cuarzo-1	14.0	5 102	55.5	1 286
Brecha-1	7.3	4 298	30.2	1 037
Milonita	1.9	2 940	14.6	380
Ox-1	6.7	4 373	35.2	836
Ox-2	7.2	4 804	44.4	774
Cuarzo-2	8.4	4 207	42.7	823
Brecha-2	3.9	4 041	39.3	401
Andesita-1	14.9	4 975	67.3	1 100
Diorita	13.2	4 650	48.6	1 260
Brecha-3	11.3	4 650	58.3	900
Pórfido-1	6.7	3 829	31.2	823
Pórfido-2	5.1	3 661	46.6	401

## 2.2.8 Normas Internacionales

Resumen de la reglamentación internacional sobre el control de vibraciones (Scherpenisse, 2012)

Tabla 2. 8 Normas internacionales

Pais de procedencia	Nombre de reglamentacion	Fecha de expedicion
<b>Alemania(1)</b>	<b>DIN 4150</b>	<b>1976 (1999 &amp; 2001)</b>
Brasil	CETESB D7.013	2000
<b>Escocia</b>	<b>PAN50</b>	<b>2002</b>
<b>EEUU - Federal</b>	<b>USBM R18507</b>	<b>1982</b>
EEUU - Federal	OSM 817.67	1985
<b>España</b>	<b>UNE 22-381-93</b>	<b>1995</b>
Francia	Recomendaciones GFEE	2003
Internacional	ISO 4866	1992
Italia	UNI 9916	1993
<b>Australia y Nueva Zelanda (ANZEC)</b>	<b>NZS 4403</b>	<b>1990</b>
Portugal	Portugal NP2074	1985
Reino Unido	BSI 6472	1994
<b>Reino Unido</b>	<b>BSI 7385</b>	<b>1995</b>
<b>Sueca</b>	<b>SS 460 48 46</b>	<b>1993</b>
Suiza	SN 640 312a	1994

*Fuente: Vibraciones causadas por actividad humana: caracterización, efectos y manejo en la Ingeniería Civil - Universidad del Valle, Santiago de Cali.*

### 2.3 Definición de términos básicos

- A. Plasma: El plasma es conocido como el cuarto estado de la materia, existe un quinto que es el estado criogénico, poco conocido aún ya que estudia el comportamiento de los materiales bajo el 0 absoluto. El plasma es el estado físico alcanzado en los gases a temperaturas elevadísimas cuya agitación térmica arranca todos los electrones de los orbitales atómicos y da un estado de características propias, al que se le aplican leyes físicas propias, es una materia gaseosa fuertemente ionizada con igual número de cargas libres positivas y negativas.
- B. Ionización: Es el fenómeno químico mediante el cual se producen iones, átomos cargados eléctricamente debido al exceso o falta de electrones.
- C. Reacción exotérmica: Se denomina a una reacción química que desprende energía.
- D. Taladro: Cavidad u hueco hecha en roca u otro material para colocar una carga explosiva con el fin de realizar una voladura
- E. Acoplamiento: Se refiere al grado de intimidad entre el explosivo en un taladro y la roca que lo rodea.
- F. Desacoplamiento: El desacoplamiento se refiere a la práctica de utilizar una carga de diámetro más pequeño que el del taladro en el cual está ubicada
- G. Factor de Carga: Es la cantidad de explosivo usado para romper una unidad de volumen o peso de roca. Tiene unidades de kg/BCM, o kg/m<sup>3</sup>
- H. Simpatía: Es la capacidad que poseen algunos explosivos de ser iniciados, sin necesidad del contacto entre el iniciador y el explosivo, los que pueden encontrarse distanciados, por cierto espacio intermedio. La detonación de un

explosivo causada por otra detonación. El término es normalmente usado en situaciones accidentales (ej. Un tiro adyacente).

- I. Retacado: Llenado y apisonado de los taladros con materiales inertes para confinar los explosivos.
- J. Talud: La superficie de roca vertical, o cuasi-vertical en el borde del área de un pattern de voladura. Una cara existe si el banco en el cual están los taladros perforados posee los collares a un nivel más alto que el piso en frente de alguna parte del borde del pattern de la voladura.
- K. Cara Libre: Una cara es denominada libre si no posee material quebrado en frente de ella. Esto significa que el macizo rocoso intacto al ser volado es expuesto a la cara.
- L. Burden: El burden para un Taladro se refiere a la dimensión lineal entre el Pozo y la cara libre. Es medida normal a la dirección de la línea de pozos que constituyen una fila.
- M. Espaciamiento: El espaciamiento de un taladro se refiere a la dimensión lineal entre taladros adyacentes formando una fila, y es usualmente medido paralelo a la cara libre.
- N. Taco (Deck): Éste es un término utilizado cuando una larga columna de explosivo es reemplazada por un número de pequeñas unidades de carga, cada una separada por material inerte como taco.
- O. Pata (Toe): Parte más baja del talud, la cual no se ha quebrado. Cualquier sección del piso creada por la voladura que permanece sin romper sobre el nivel diseñado del piso.



## **2.4 Formulación de hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

El análisis de vibraciones inducidas por el uso de plasma predice y minimiza el daño a las estructuras de las viviendas cercanas, lo que permitirá tomar mejores decisiones y controlar la operación de fragmentación de rocas en el Proyecto Oxidos Insitu en Volcan Compañía Minera.

### **2.4.2 Hipótesis específica**

- A. El modelo predictivo elaborado permite definir parámetros de diseño de perforación y fractura que se ajusten a la necesidad, minimizando los efectos por las vibraciones.
- B. El diseño de perforación y fragmentación determinado por los modelos predictivos y ley de atenuación permite reducir los daños por las vibraciones.

## **2.5 Identificación de Variables**

### **2.5.1 Variable independiente**

X= Registro y análisis de vibraciones inducidos por plasma en la fragmentación de rocas

### **2.5.2 Variable dependiente**

Y= Daño en las viviendas circundantes en el Proyecto Oxidos Insitu de Volcan Compañía Minera.

## 2.6 Definición operacional de variables e indicadores

### 2.6.1 Operacionalización de variables

Tabla 2. 9 Operacionalización de variables

OBJETIVOS GENERALES: Analizar las vibraciones inducidos por el uso de plasma en la fragmentación de rocas para minimizar los daños a las estructuras de las viviendas cercanas al Proyecto Oxidos Insitu en Volcan Compañía Minera.		
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	INDICADORES
<p>A. Elaborar un modelo predictivo de vibraciones en base al análisis para evitar daños a las estructuras de las viviendas cercanas al proyecto.</p> <p>B. Establecer un diseño de perforación y fragmentación mediante de acuerdo al modelo predictivo.</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>X= Registro y análisis de vibraciones inducidos por plasma en la fragmentación de rocas</p> <p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Y= Daño en las viviendas circundantes en el Proyecto Oxidos Insitu de Volcan Compañía Minera.</p>	<p>A. Minimizar efectos de vibraciones en las estructuras de viviendas circundantes al Proyecto Oxidos Insitu de volcan Compañía Minera.</p> <p>B. Umbral máximo de daño por cantidad de plasma</p>

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva.

#### 3.2 Método de investigación

El método que se empleará es analítico y experimental.

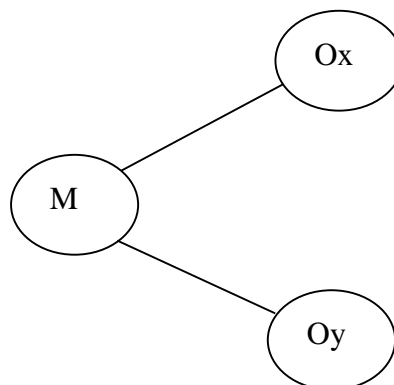
#### 3.3 Diseño de la investigación

M: Muestra

Ox: Variable independiente.

Oy: Variable dependiente.

Figura 3. 1Diseño de la investigación



### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

La población está compuesta de una base de datos de registros obtenidos del Proyecto Óxidos Insitu en los meses de enero hasta julio del 2019 de la EA Cerro S.A.C.

#### **3.4.2 Muestra**

El Proyecto Óxidos Insitu está dividido en tres zonas que son las siguientes:

- A. Zona Machu Picchu
- B. Zona Santa Rosa
- C. Zona San Alberto

Para la muestra se utilizaron los registros obtenidos en la **Zona de Machu Picchu**.

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.5.1 Primera etapa trabajo de campo**

Para la recolección de datos se utilizará un geófono marca Instantel Minimate Plus Serie III, la cantidad de información utilizable de cada registro de vibraciones depende de la ubicación y orientación de los transductores. La forma de la onda recibida es función de lo siguiente:

- Propiedades y cantidad de plasma
- Configuración geométrica de la fuente y detector
- Orientación y ubicación del detector
- Propiedades del transductor
- Propiedades de la roca (ej. Velocidad de Onda-P)

### **3.5.2 Segunda etapa trabajos en gabinete**

Los datos registrados del geófono serán almacenados en hojas de Excel, así como la configuración de los parámetros de diseño de malla de perforación y carguío para la obtención y análisis de la siguiente información:

- Tiempo de atenuación.
- Constantes del medio ( $V_p/V_s$ ,  $K$ , alfa, etc.)
- Utilización efectiva de la energía.
- Informe de daños a las estructuras circundantes.

### **3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Los datos registrados por el equipo serán almacenados, creando una base de datos en hojas Excel los cuales serán procesados por herramientas y aplicaciones propias del software como: tablas dinámicas, formulas diseñadas para análisis de vibraciones, gráficos estadísticos etc.

### **3.7 Tratamiento estadístico**

Para el análisis de los datos utilizaremos las hojas de cálculo de Excel el cual nos permitirá desarrollar la generalización de los resultados como:

- Medidas de tendencia
- Distribución de frecuencias

### **3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

#### **3.8.1 Procedimiento de validación**

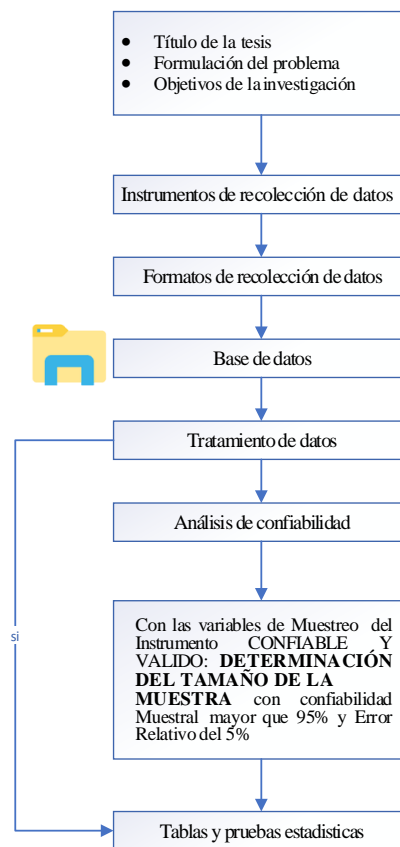
Una vez concluido con la elaboración de los instrumentos de recolección de datos, para su

posterior validación, se sometió a un tratamiento de los mismos en la zona de Machu Picchu, el mismo que se desarrolló siguiendo el procedimiento que a continuación se indica.

Se seleccionó los instrumentos con traductores de campo medio lejano obteniendo 120 registros de enero a julio del 2019, de acuerdo a los niveles de daño de la zona de Machu Picchu se consideró la zona más crítica para el estudio de nuestra investigación.

### 3.8.2 Diseño de la validación y confiabilidad del instrumento de recolección de datos

Gráfico 3.1 Validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación



### 3.9 Orientación ética

La responsabilidad social es uno de los pilares que dará impulso a los proyectos mineros, a partir de esto, la presente tesis tendrá como objeto contribuirá desarrollo de una minería más sostenible con la sociedad y el medio ambiente.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

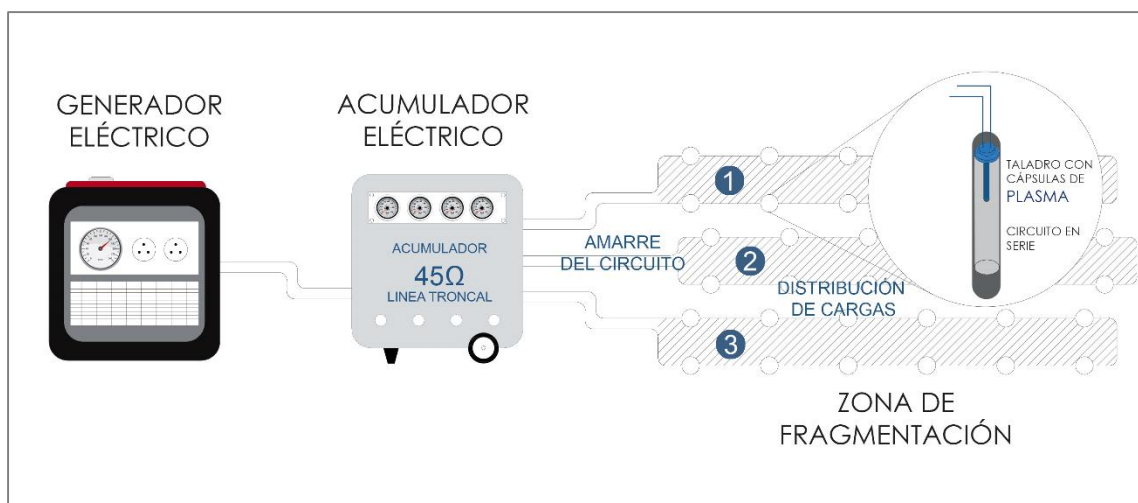
#### 4.1 Descripción del trabajo de campo

##### 4.1.1 Descripción de método de descarga de alto voltaje (pav)

Para este método requiere suministrar una descarga de alto voltaje y corriente eléctrica (energía eléctrica) a un circuito cerrado de cápsulas con plasma.

El sistema está compuesto por un generador de energía y un acumulador el cual se almacena la energía necesaria para iniciar las capsulas con plasma en un circuito cerrado en una fracción de segundos, estas capsulas se convierten en estado plasma generando impacto de energía debido a una reacción térmica, generando alta temperatura y onda de impacto que causa la desintegración de la roca como resultado se obtiene baja vibración y ruido.

Figura 4. 1 Diagrama de inicialización Enaex



#### 4.1.1.1 Componentes del sistema

a. Acumulador eléctrico: el acumulador eléctrico es un equipo diseñado para acumular la energía suficiente para iniciar cargas de plasma con total seguridad.

Algunas de las características principales son:

- Tiene 4 canales como máximo.
- Resistencia máxima por línea troncal aceptable es de  $50\Omega$
- Descarga de energía de 4000 voltios por línea troncal.
- Distancia mínima requerida para la iniciación de una fractura 50m.
- Sistema de iniciación de alta seguridad.

Figura 4. 2 Acumulador eléctrico



b. Generador eléctrico: la función principal de este equipo es de suministrar la energía necesaria hacia el acumulador.

Figura 4. 3 Generador eléctrico





c. Equipo multitest: se utiliza para realizar el test de resistencia de tres procesos fundamentales:

- Test de resistencia de cada cápsula
- Test de resistencia de cada taladro cargado con capsulas
- Test de resistencia de cada línea troncal

Figura 4. 4 Equipo multitest



d. Fragmentador plasma

De acuerdo a los parámetros de diseño, el fragmentador utilizado para el Proyecto Oxidos Insitu es el Primalfract.

Figura 4. 5 Cápsulas de plasma PRIMALFRACT



## Características Técnicas

- **Aspecto:** Manga Plástica
- **Iniciación:** SI\* Integrado: 1 a 2 Resistencias Eléctricas
- **Duración:** 2 años (máxima)
- **Precaución:** Producto altamente higroscópico
- **Volumen:** Gaseoso (L/Kg) 55
- **Densidad:** 0,6 a 1,4 gr/cc
- **Gases:** Óxido de reducción, N<sub>2</sub>

Tabla 4. 1 Características capsula PRIMALFRACT

TIPO DE CARGA	DIÁMETRO	LARGO	DIÁMETRO DE PERFORACIÓN RECOMENDADO PARA USO
Cápsula 1,3 PMD	55 mm	46 cm	3 a 3,5 pulgadas
Cápsula 1,7 PMD	70 mm	46 cm	3,5 pulgadas
Cápsula 2,0 PMD	70 mm	50 cm	3,5 pulgadas
Cápsula 3,0 PMD	76 mm	53 cm	4 pulgadas

Información de transporte:  
Químico controlado Clase 4. División 4.1 N° UN: 3089



Señalética de clasificación para almacenamiento  
según estándar NFPA 704



### 4.1.2 Etapas para la fragmentación de rocas con plasma

Para el desarrollo de actividades de perforación y fractura de rocas con plasma, se consideran esencialmente las siguientes etapas:

#### 4.1.2.1 Etapa de planificación

##### A. Planeamiento e ingeniería

La Empresa Administradora Cerro S.A.C. es la encargada de planificar y desarrollar los planes de minado a corto, mediano y largo plazo con la finalidad de mantener la continuidad de la operación minera. Proporciona información al área a fragmentar para poder realizar los planes de perforación con anticipación.

El área de topografía realiza un levantamiento previo de la zona donde se va perforar para poder generar la malla de perforación y voladura con sus respectivos parámetros.

### **B. Diseño de anteproyecto**

La empresa Enaex es la encargada de realizar los diseños de anteproyecto de acuerdo a lo planificado y las condiciones que presenta el terreno los cuales son aprobados por el área de planeamiento e ingeniería para su ejecución. Este anteproyecto define los siguientes parámetros:

- Altura de banco
- Diámetro del barreno
- Longitud del barreno
- Burden
- Espaciamiento
- Taco
- Sobreperforación
- Número de cápsulas
- Ancho de berma
- Angulo de talud

## C. Levantamiento de la malla de perforación

El área de topografía realiza el levantamiento de ubicación de los taladros que se van a perforar.

### 4.1.2.2 Etapa de perforación

Es importante destacar esta etapa por ser la primera operación dentro del ciclo de operación de la mina, esto consiste en realizar una cavidad donde serán alojadas las cargas de plasma y accesorios de iniciación.

### 4.1.2.3 Equipos de perforación

- Empresa: U-GIL
- Marca: SOOSAN
- Serie: STD 14M

Figura 4. 6 Equipo de perforación SOOSAN



- Empresa: U-GIL
- Marca: JUNJIN
- Serie: JD 1500

Figura 4. 7 Equipo de perforación JUNJIN



#### 4.1.2.4 Etapas de carguío y secuencia de fractura de roca con plasma

- a. La secuencia considera como primera etapa verificar el espaciamiento, burden y profundidad de los pozos conforme al diseño entregado, se verificará que se hayan respetado y manteniendo las distancias calculadas.

Figura 4. 8 Medición de profundidad real vs teórica



- b. Distribución de las cargas de Plasma en los pozos, conforme a las cantidades calculadas, durante su distribución.

Figura 4. 9 Carguío de taladros con capsulas



- c. Introducción de las cargas de Plasma en los pozos; Las cápsulas se colocarán respetando los tacos de gravilla previamente establecidos, siendo de responsabilidad del supervisor de campo a cargo, el verificar su correcta instalación.
- d. Se deberá verificar la distribución y cantidad de arcilla/gravilla requerida para el taco de los pozos, siempre teniendo presente que no exista material de taco con sobre tamaño, ya que esto puede cortar las líneas u obstruir el pozo.

Figura 4. 10 Tipo de taco y método de retacado



- e. Se realizará el test con un equipo multitestador de las conexiones de las cápsulas introducidas en el pozo constatando su continuidad. Este trabajo deberá realizarse en cada uno de los pozos. Todas las conexiones serán aisladas con cinta aislante de PVC/conectores.

Figura 4. 11 Test de continuidad de cargas



- f. La conformación y unión del circuito de amarre de las cápsulas, se realizará de acuerdo a la resistencia óhmica, manteniendo el cuidado de no sobrepasar los ohm total 45 ohm por canal señaladas por el fabricante, incluido el cable doble conductor que el equipo acumulador es capaz de iniciar por canal.

Figura 4. 12 Amarre de circuito



#### **4.1.3 Etapa de Iniciación**

Una vez realizado el amarre de circuito de los pozos y despejada el área conforme a programa de fractura, se procede como sigue:

- a. Instalar maquina iniciadora y generador eléctrico.
- b. La máquina iniciadora y generador eléctrico son ubicados en un lugar seguro, esto dependerá de la malla a fracturar, kilos de plasma totales, tipo de roca, etc. En resumen, es tomar las medidas básicas de protección y distancia necesaria para evitar un incidente para el personal operador y equipo.



Figura 4. 13 Instalación de troncales al equipo



- c. Extender cable troncal de iniciación. Conectar el circuito al cable troncal extendido el cable de iniciación, se procede a conectar el circuito eléctrico de los canales con el cable troncal de iniciación.

Figura 4. 14 Tendido de cables troncales



- d. Conectar cable troncal a máquina iniciadora: Antes de conectar, verificar continuidad del circuito eléctrico, conectar los extremos del cable troncal a la salida positivo -negativo del canal, en el equipo iniciador, conectar a red 220V o equipo generador (7 KVA), el equipo iniciador.

- e. Iniciar fractura de plasma con autorización de y protocolos de seguridad.

#### **4.1.4 Instrumentación para registro de vibraciones**

La instrumentación es vital y su propósito es localizar traductores en puntos estratégicos a objeto de obtener una base de información consistente y representativa.

Los sensores de vibración se anclan a la roca muy próximos a la fragmentación y detectan los pulsos intensos de choque producidos por las cargas individuales, a medida que se efectúan los disparos. Los sensores comúnmente usados son los geófonos (sensores de velocidad) y los acelerómetros (sensores de aceleración).

En un geófono la amplitud de la señal es directamente proporcional a la velocidad de partícula y las unidades por lo tanto se muestran en (m/s) o más comúnmente en (mm/s), convirtiendo un pequeño movimiento físico, generado durante el paso de la vibración, a una señal de voltaje equivalente según sea su sensibilidad.

##### **4.1.4.1 Equipo de medición**

Los transductores son comúnmente instalados en un arreglo triaxial, y la señal de cada uno es recolectada separadamente. En algunos casos, se requieren múltiples canales, cada uno de los cuales puede ser amplificado o atenuado. Después de esta amplificación (o atenuación), las señales de salidas de los transductores son grabadas como una señal análoga o convertidas en señal digital y grabadas. Para nuestro estudio se utilizó el equipo InstanTel Minimate plus Serie.

Figura 4. 15 Equipo InstanTel Minimate Plus



#### 4.1.4.2 Instalación y orientación de sensores

- a. **Orientación:** Para realizar una adecuada interpretación de los datos de vibración, que permitan analizar la secuencia real de iniciación de un determinado número de cargas, en asociación con la posición relativa entre ésta y el transductor, es necesario tener absoluta certeza de la orientación real del transductor hacia el punto de fragmentación.

Figura 4. 16 Orientación del traductor de



- b. **Acoplamiento:** Una vez que el transductor está ubicado y correctamente orientado, su posición debe estar fijada a la superficie, asegurada por medio de material de grano medio fino, el cual proporciona que el traductor este acoplada y los registros sean más fidedignos.
- c. **Recubrimiento:** Utilizamos una bolsa con tierra o material fino para cubrir el traductor y encima colocamos una piedra de tamaño moderado para que tenga un mejor acoplamiento a la superficie.

Figura 4. 17 Fijación del traductor de vibración



- d. **En Superficie:** Instalamos los cables del traductor a la consola y configuramos las opciones de registro.

Figura 4. 18 Instalación completa del sismógrafo



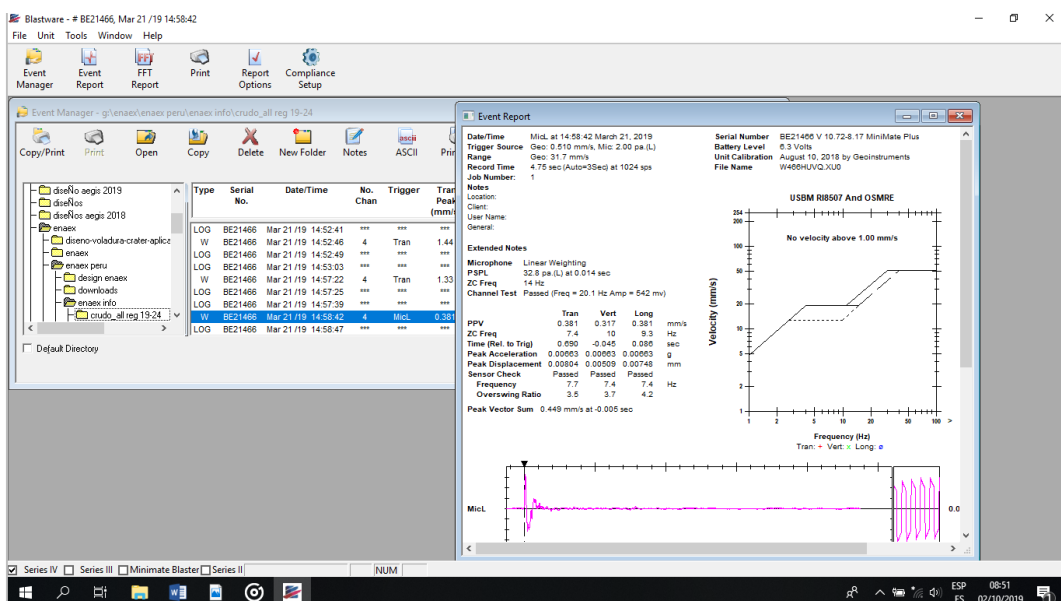
## 4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1 Trabajo de gabinete

#### 4.2.1.1 Análisis de vibraciones

Para nuestro estudio se utilizó el software Blastware que cuenta con funciones para el manejo de eventos, la elaboración de reportes y el análisis de datos.

Figura 4. 19 Ventana de inicio software Blastware



### 4.2.1.2 Creación de base de datos

Cos registros obtenidos del sismógrafo creamos una base de datos en Excel para el modelamiento de los campos.

Figura 4. 20 Base de datos de registro de vibraciones

Fecha de Fractura	Ubicación	Proyecto	N° de Fractura	Díametro de Pozo (pulg.)	Longitud de pozo real (m)	Burden (m)	Espaciamiento (m)	Taco Final Promedio (m)	Numero de taladros	N° de cásulas utilizadas	Kilogramos de Plasma promedio (kg/pozo)	Carga utilizada (kg)	Volumen (m³)	TonELAJE (ton)	FP (kg/m³)	FP (kg/ton)	Distancia (m)	P. de Monitoreo	Ubicación del Geofono	PVS (mm/s)
27/01/19	Machu Picchu	Y004-2701201	4	3.5	3.0	1.5	1.5	1.6	8	22	3.58	29	54	189	0.54	0.15	30	Hacia el Sur	Hacia el Sur	1.743
08/03/19	Machu Picchu	Y011-0803201	11	3.5	5.3	2.0	2.0	2.2	67	267	5.18	347	1.420	4.971	0.24	0.07	40	Mismo nivel	Oeste	24.02
10/03/19	Machu Picchu	Y012-1003201	12	3.5	6.5	2.0	2.0	2.5	37	216	7.59	281	942	3.367	0.29	0.08	80	Mismo nivel	Oeste	0.591
12/03/19	Machu Picchu	Y013-1203201	13	3.5	6.5	2.0	2.0	2.3	41	239	7.58	311	1.036	3.731	0.29	0.08	120	Mismo nivel	Oeste	1.045
21/03/19	Machu Picchu	Y018-2103201	18	4.0	3.1	2.0	2.0	1.7	12	34	3.48	44	149	521	0.32	0.08	140	Mismo nivel	Sur	0.449
23/03/19	Machu Picchu	Y019-2303201	19	4.0	7.0	2.0	2.0	1.8	37	267	9.38	347	1.036	3.626	0.34	0.10	130	Mismo nivel	Sur	0.795
13/04/19	Machu Picchu	Y026-1304201	26	3.5	8.0	1.5	1.5	1.8	27	208	10.01	270	486	1.701	0.56	0.16	150	Mismo nivel	Sur	0.104
16/04/19	Machu Picchu	Y027-1604201	27	3.5	6.5	1.5	1.5	1.8	40	229	7.44	298	585	2.048	0.51	0.15	150	Mismo nivel	Sur	1.694
18/04/19	Machu Picchu	Y028-1804201	28	4.0	5.0	1.5	1.5	1.8	55	246	5.81	320	619	2.166	0.52	0.15	120	Mismo nivel	Sur	0.684
09/05/19	Machu Picchu	Y036-0905201	36	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	32	154	6.26	200	678	2.374	0.30	0.08	100	Diferente nivel	Sur	2.698
18/05/19	Machu Picchu	Y037-1805201	37	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	30	115	4.98	150	636	2.226	0.24	0.07	250	Mismo nivel	Sur	0.108
20/05/19	Machu Picchu	Y038-2005201	38	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	48	226	6.12	294	1.018	3.562	0.29	0.08	250	Mismo nivel	Sur	0.587
21/05/19	Machu Picchu	Y039-2105201	39	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	37	178	4.25	231	784	2.742	0.30	0.08	250	Mismo nivel	Sur	0.609
21/05/19	Machu Picchu	Y040-2105201	40	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	41	230	7.29	299	984	3.444	0.30	0.09	250	Mismo nivel	Sur	4.371
25/05/19	Machu Picchu	Y041-2505201	41	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	40	230	7.48	299	960	3.360	0.32	0.09	250	Mismo nivel	Sur	1.284
27/05/19	Machu Picchu	Y042-2705201	42	3.5	8.0	2.0	2.0	1.8	25	155	8.06	202	800	2.800	0.25	0.07	250	Mismo nivel	Sur	0.098
30/05/19	Machu Picchu	Y043-3005201	43	3.5	8.0	2.0	2.0	1.8	39	300	10.00	390	1.248	4.368	0.31	0.09	120	Mismo nivel	Sur	0.566
01/06/19	Machu Picchu	Y044-0106201	44	3.5	5.0	2.0	2.0	1.8	56	244	5.66	317	1.120	3.920	0.28	0.08	100	Mismo nivel	Sur	0.841
03/06/19	Machu Picchu	Y045-0306201	45	3.5	5.0	2.0	2.0	1.8	48	211	5.71	214	763	2.562	0.29	0.08	120	Mismo nivel	Sur	0.629
05/06/19	Machu Picchu	Y047-0506201	47	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	72	309	5.58	402	810	2.835	0.50	0.14	100	Mismo nivel	Sur	0.463
07/06/19	Machu Picchu	Y048-0706201	48	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	72	335	6.05	436	810	2.835	0.54	0.15	120	Mismo nivel	Sur	0.641
08/06/19	Machu Picchu	Y049-0806201	49	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	24	93	5.04	121	210	745	0.45	0.13	50	Mismo nivel	Sur	0.826
11/06/19	Machu Picchu	Y050-1106201	50	3.5	7.0	2.0	2.0	1.8	22	218	12.88	263	616	2.156	0.46	0.13	30	Mismo nivel	Norte	6.456
12/06/19	Machu Picchu	Y051-1206201	51	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	30	186	8.06	242	720	2.520	0.34	0.10	100	Mismo nivel	Sur	1.296
14/06/19	Machu Picchu	Y052-1406201	52	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	7	37	6.87	48	79	276	0.61	0.17	100	Mismo nivel	Sur	1.102
15/06/19	Machu Picchu	Y053-1506201	53	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	28	177	8.22	230	672	2.352	0.34	0.10	150	Mismo nivel	Sur	0.851
19/06/19	Machu Picchu	Y055-1906201	55	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	36	288	8.23	296	864	3.024	0.34	0.10	100	Mismo nivel	Sur	1.856
21/06/19	Machu Picchu	Y056-2106201	56	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	37	157	5.52	204	888	3.108	0.23	0.07	100	Mismo nivel	Norte	0.926
28/06/19	Machu Picchu	Y058-2806201	58	3.5	4.8	1.5	1.5	1.8	27	129	6.21	168	292	1.021	0.58	0.16	100	Mismo nivel	Sur	0.827
12/07/19	Machu Picchu	Y063-1207201	63	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	41	151	4.79	196	492	1.722	0.40	0.11	100	Mismo nivel	Norte	0.383
14/07/19	Machu Picchu	Y064-1407201	64	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	81	373	5.99	485	972	3.402	0.50	0.14	100	Mismo nivel	Sur	1.661
16/07/19	Machu Picchu	Y065-1607201	65	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	76	346	5.92	450	912	3.192	0.49	0.14	100	Mismo nivel	Sur	1.796
18/07/19	Machu Picchu	Y066-1807201	66	3.5	6.0	1.5	1.5	1.8	24	98	5.31	127	214	756	0.59	0.17	80	Mismo nivel	Sur	1.111
20/07/19	Machu Picchu	Y068-2007201	68	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	54	179	4.31	233	1.296	4.536	0.18	0.05	100	Mismo nivel	Sur	0.742
22/07/19	Machu Picchu	Y069-2207201	69	3.5	6.0	1.5	1.5	1.8	36	176	4.36	229	486	1.701	0.47	0.13	280	Mismo nivel	Sur	0.095
25/07/19	Machu Picchu	Y070-2507201	70	3.5	6.0	1.5	1.5	1.8	36	396	9.19	515	756	2.666	0.68	0.19	100	Mismo nivel	Sur	1.071
27/07/19	Machu Picchu	Y073-2707201	72	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	59	387	8.53	503	708	2.478	0.71	0.20	100	Mismo nivel	Sur	0.871
31/07/19	Machu Picchu	Y073-3107201	73	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	27	207	9.97	269	648	2.368	0.42	0.12	140	Mismo nivel	Sur	0.085

### 4.2.2 Análisis vibracional del uso de plasma en la fragmentación de rocas

#### 4.2.2.1 Análisis de laboratorio de mecánica de rocas

Para poder determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, se tomaron muestra en campo de roca y cuaternario, estas muestras se recogieron de los dominios geomecánicos principales que están principalmente relacionado con la litología.

En las siguientes tablas se especifica las muestras recogidas y los ensayos realizados.

Muestras de Roca

Tabla 4. 2 Muestras de roca

Código	Coordenadas	
	Norte	Este
M1	8819070	362072
M5	8818894	362153
M6	8819238	362176

#### 4.2.2.2 Resultados

A continuación, en las siguientes tablas se muestran los resultados de los ensayos realizados:

Tabla 4. 3 Compresión simple en rocas ASTM D2938

Código	Resistencia (Mpa)
M1	31.1
M5	71.5
M6	32.3

Tabla 4. 4 Gravedad específica, absorción y densidad de la roca

Código	Gravedad Específica Aparente	Absorción (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
M1	2.13	7.04	2.11
M5	2.48	1.66	2.46
M6	2.55	2.24	2.53

Tabla 4. 5 Módulos elásticos

Código	Módulo de Young (GPA)	R. POISSON
M1	7.15	0.3
M5	15.98	0.28
M6	5.29	0.31

Fuente: estudio geomecánico - optimización de ángulos de diseño para los taludes del PROYECTO ÓXIDOS IN SITU - BISA

Tabla 4. 6 Formato mapeo por celdas

		Mina:	CERRO SAC.		Norte:	8818978																									
		Zona:	Santa Rosa - SUR		Este:	3622279																									
		Estación:	3	Talud:	355° 85°	Fecha:		11/01/2019																							
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO (m)	RELLENO		Observaciones	ESTEREOGRAMA																								
	DIREC. BUZAMIENTO	BUZAMIENTO		TIPO	ESPESOR (mm)																										
	F	290	70	> 2	Ox. Arc			< 2	Sistema principal																						
	F	195	80	2 m - 3 m	Ox. arc			< 1	Humedo																						
	d	287	45	0.6 - 1.5 m	Ox. arc	< 2	Humedo																								
Masivo. Dos sistemas como control estructural. Aforamiento de las cuarcilas oxidadas. HS= 38, 30, 28, 32, 48, 36, 37, 36, 40, 30, 48.																															
						<table border="1"> <thead> <tr> <th>Color</th> <th>Dip</th> <th>Dip Direction</th> <th>Label</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4"><b>User Planes</b></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>85</td> <td>355</td> <td>Slope</td> </tr> <tr> <td colspan="4"><b>Mean Set Planes</b></td> </tr> <tr> <td>1m</td> <td>53</td> <td>288</td> <td>S1</td> </tr> <tr> <td>2m</td> <td>80</td> <td>195</td> <td>S2</td> </tr> </tbody> </table>		Color	Dip	Dip Direction	Label	<b>User Planes</b>				4	85	355	Slope	<b>Mean Set Planes</b>				1m	53	288	S1	2m	80	195	S2
Color	Dip	Dip Direction	Label																												
<b>User Planes</b>																															
4	85	355	Slope																												
<b>Mean Set Planes</b>																															
1m	53	288	S1																												
2m	80	195	S2																												
<b>VALORIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR 89)</b>																															
PARAMETRO		RANGO DE VALORES				VALOR ESTIMADO		VALORACIÓN																							
RESIS. COMPRE. UNIAxIAL (Mpa)		1	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)	1	7																						
RQD %		2	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	< 25 (3)	2	17																						
ESPACIAMIENTO		3	> 2m (20)	0,6m - 2m (15)	0,6m - 0,2 m (10)	0,2m - 0,06m (8)	< 0,06m (5)	3	10																						
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	4	< 1m (6)	1m - 3m (4)	3m - 10m (2)	10m - 20m (1)	> 20m (0)	4A	2																						
	APERTURA		Cerrada (6)	< 0,1 mm. (5)	0,1mm - 1mm (4)	1mm - 5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	4																						
	RUGOSIDAD		Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	1																						
	RELLENO		Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	4D	1																						
	INTERPERMEACIÓN		Sana (6)	Lig. Intempe. (5)	Mod. Intempe. (3)	Muy intempe. (2)	Descompuesta (0)	4E	3																						
AGUA SUBTERRANEA		5	Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10																						
RMR BASICO =								55																							
AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE ESTRUCTURAS = F1 x F2 x F3								-3.8																							
AJUSTE POR MÉTODO DE EXCAVACIÓN = F4																															
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>								<b>RMR<sub>b</sub></b>																							
SRM (Valoración)	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0			<b>55</b>																							
Estabilidad	Comp. estable	Estable	Parcialmente estable	Inestable	Completamente inestable																										
Tipos de falla	Ninguno	Algunos bloques	Muchas cunyas y juntas	Cunyas / Planar	Grandes cunyas/planar																										
CLASE	I	II	III	IV	V																										
SUBCLASE	Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IVa	IVb	Va																						
<b>FACTORES DE CORRECCIÓN: F1, F2, F3 Y F4 (Caso P= [A]-[As]; Caso T= [A]-[As]-[180])</b>								<b>59</b>																							
MUY FAVORABLE	FAVORABLE	MEDIA	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE																											
> 30°	30° - 20°	20° - 0°	10° - 5°	< 5°																											
0.15		0.4	0.75	0.85	1																										
		[B]																													
< 20°		20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 40°																										
<b>F2 (P) &amp; F (T) = 1 (para todos los casos)</b>																															
0.15		0.4	0.7	0.85	1																										
F2 (P) = [B] - [Bs] > 10°		F2 (P) = [B] - [Bs] > 10° - 0°		F2 (P) = [B] - [Bs] > 0°		F2 (P) = [B] - [Bs] > 0° - (-10°)		F2 (P) = [B] - [Bs] < -10°																							
F3 (T) = [B] + [Bs] < 110°		F3 (T) = [B] + [Bs] < 110° - 130°		F3 (T) = [B] + [Bs] > 120°																											
0		-2		-5		-10																									
<b>F4 (P / T)</b>																															
15 (Talud Natural)		10 (Picorte)		8 (Voladura suave)		0 (Voladura / Mecánico)		(-8) (Voladura deficiente)																							
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS - IDENTIFICACIÓN DE CAMPO		Rango Resist. Comp. (Mpa)																												
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla.		1 - 5	Noneclatur																											
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme de martillo (de punta).		5 - 25	d = diademas e = estrat.																											
R3	No se raya ni se desconcha con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme de martillo.		25 - 50	F = falla Ox = oxidos																											
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe de martillo.		50 - 100	P = panizo C = cuarzo																											
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra.		100 - 250	Ca = carbonato ss = split set																											
R6	Sólo se rompe esquinas de la muestra con el martillo.		> 250	hy = hydrabolt HD = h. derecho																											

Fuente: estudio geomecánico - optimización de ángulos de diseño para los taludes del PROYECTO ÓXIDOS IN SITU - BISA



#### **4.2.2.3 Cálculo de la velocidad pico partícula crítica (V<sub>ppc</sub>)**

La velocidad pico partícula crítica es la velocidad máxima de partícula que la roca puede tolerar antes de su ruptura. Es de vital importancia en este estudio la determinación de un criterio de daño, ya que, para evaluar el daño producido en el macizo rocoso a causa de la fragmentación, se compararán niveles de vibraciones generados por éstas, con niveles que serán considerados críticos, determinando de esta forma si se produce o no daño.

#### **4.2.2.4 Cálculo de la Velocidad de Onda P**

La velocidad de propagación describe la velocidad con la cual la onda P se desplaza a través de la roca.

Q : Índice de calidad del túnel - Bieniawski 1979 ( Q ):

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

$$Q = \exp ( ( RMR - 44 ) / 9 )$$

$$Q = \exp ( ( 55 - 44 ) / 9 ) = 3.39$$

#### **4.2.2.5 Cálculo de la velocidad de propagación de onda P (V<sub>p</sub>)**

$$V_p = 3500 + 1000 \log (Q)$$

$$V_p = 3500 + 1000 \log (Q) = 4030.20$$

Con el uso de los parámetros geomecánicos de macizo rocoso más el valor de la V<sub>p</sub> determinada a través de las pruebas sísmicas, se podrá determinar el nivel de PPV crítico para la zona en estudio.

Si el macizo rocoso es duro y quebradizo, y presenta un comportamiento elástico hasta el momento de su ruptura, la velocidad máxima de partícula que la roca puede tolerar antes de su ruptura por tensión es el PPV<sub>max</sub>.

La ecuación para estimar la aproximación de la Velocidad de partícula crítica de la roca es:

$$VPP_{critico} = \frac{\sigma_t \times V_p}{E} \cong \frac{UCS \times V_p}{12 \times E}$$

$PPV_{max}$ : velocidad de partícula crítica. (mm/s)

$\sigma_t$ : Resistencia a la tracción. (Mpa)

$V_p$ : Velocidad de onda. (m/s)

E: Modulo de Young. (Gpa)

UCS: Resistencia a la compresión simple. (Mpa)

Fuente: Dowding, C., 2000. *Construction Vibrations*, ISBN 0-99644313-1-9, p 329.

Tabla 4. 7 Datos para hallar la VPPc

Muestra	Resistencia a la compresión simple (Mpa)	Módulo de Young (Gpa)	Vp (m/s)
M1	31.1	7.15	4030.20
M5	71.5	15.98	4030.20
M6	32.3	5.29	4030.20

**VPPc - M1:**

$$VPPc = \frac{31.1 \times 4030.20}{12 \times 7.15} = 1460.83 \text{ mm/s}$$

**VPPc – M5:**

$$VPPc = \frac{71.5 \times 4030.20}{12 \times 15.98} = 1502.71 \text{ mm/s}$$

**VPPc – M6:**

$$VPPc = \frac{32.3 \times 4030.20}{12 \times 5.29} = 2050.65 \text{ mm/s}$$

El Umbral del Valor Máximo de la velocidad de partícula para los distintos niveles de daño según Cameron Mckenzie.

Tabla 4. 8 Niveles de daño VPPc

CRITERIO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO
Mayor 4 * PPVcritico	Intenso fracturamiento
Mayor 1 * PPVcritico	Creacion de nuevas fracturas
Mayor 1 / 4 * PPVcritico	Leve propagacion fracturas pre-existentes

Utilizando los valores de VPPc determinados por las características de la roca se puede determinar un nivel de daño inducido dependiendo del nivel de vibración que sea generado por la fragmentación de rocas con plasma 4th, estos valores son presentados en la siguiente tabla.

Con ello podemos determinar la energía a través del registro de amplitud, frecuencia dominante, duración de la vibración, distancia de la fuente y las características de la

roca. Para determinar los rangos de daño se aplicó el criterio Cameron Mackenzie que es como sigue:

Tabla 4. 9 VPPc Para muestra M1

VIBRACION CRITICA	CRITERIO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO
5843	$> 4 * VPP \text{ critico}$	Intenso fracturamiento
1461	$> 1 * VPP \text{ critico}$	Creación de nuevas fracturas
365	$> 1/4 * VPP \text{ critico}$	Leve propagación fracturas pre-existentes

Tabla 4. 10 VPPc para muestra M5

VIBRACION CRITICA	CRITERIO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO
6012	$> 4 * PPV \text{ critico}$	Intenso fracturamiento
1503	$> 1 * PPV \text{ critico}$	Creacion de nuevas fracturas
376	$> 1/4 * PPV \text{ critico}$	Leve propagacion fracturas pre-existentes

Tabla 4. 11 VPPc para muestra M6

VIBRACION CRITICA	CRITERIO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO
8200	$> 4 * PPV \text{ critico}$	Intenso fracturamiento
2050	$> 1 * PPV \text{ critico}$	Creacion de nuevas fracturas
513	$> 1/4 * PPV \text{ critico}$	Leve propagacion fracturas pre-existentes

### 4.2.3 Modelo determinístico

Son modelos matemáticos donde las mismas entradas producirán invariablemente las mismas salidas, no contemplando la existencia del azar ni el principio de incertidumbre. En consecuencia, están diseñados bajo el supuesto que el resultado de un experimento queda determinado por las condiciones bajo los cuáles se realiza.

#### 4.2.3.1 Modelamiento vibracional

Con los registros obtenidos en los monitoreos de los en la zona de Machu Picchu, usando plasma 4th se obtuvieron los siguientes modelos matemáticos basados en el **criterio de campo lejano de Devine**

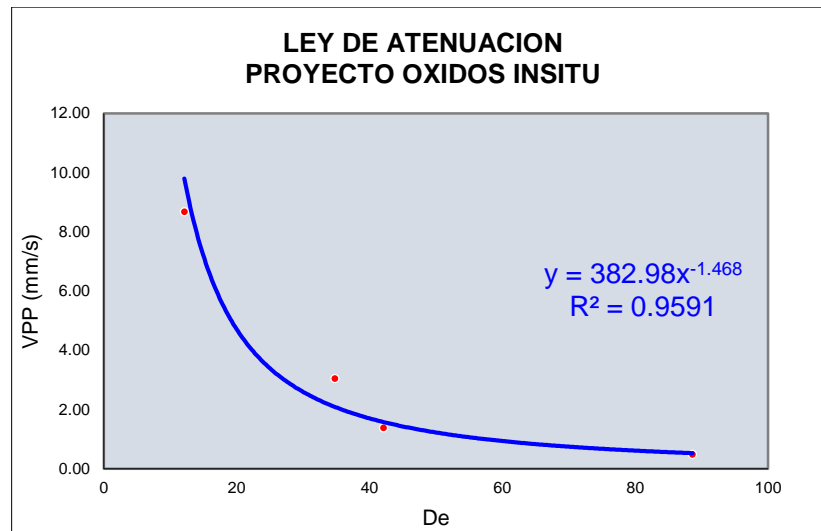
A partir de los registros de vibraciones, el análisis se efectúa mediante la “**Ley de Atenuación de Vibración de Partícula**”

Tabla 4. 12 Criterio de campo lejano de Devine con datos de campo

Datos de campo					MODELO DEVINE	
Fractura	Equipo	V (mm/s)	D (m)	W (Kg)	Eje (x)	Eje (y)
		Vel. Pico Particula	Distancia Monitoreo	(Peso max/retardo)	De = $DW^{0.2}$	VPP (mm/s)
PY012-10032019	Instantel	0.591	80	281	4.77	0.59
PY013-12032019	Instantel	1.045	120	311	6.81	1.05
PY018-21032019	Instantel	0.449	140	44	21.06	0.45
PY019-23032019	Instantel	0.795	130	347	6.98	0.80
PY026-13042019	Instantel	0.104	150	270	9.12	0.10

Del gráfico se obtiene la siguiente fórmula que simula el Modelo Vibracional Determinístico Campo lejano.

Gráfico 4. 1 modelamiento del campo lejano de devine con datos de campo



$$y = 382.98x^{-1.468}$$

$$V_{pp} = 382.98 \left( \frac{d}{W} \right)^{-1.468}$$

$$k = 382.98; \alpha = -1.468$$

#### 4.2.4 Análisis de campo lejano con datos de campo

Tabla 4. 13 Análisis de datos para el modelamiento de campo

lejano de devine muestra m1

TIPO DE ROCA			
RMR	55	55	55
PLASMA	PRIMAL FRACT	PRIMALFRACT	PRIMALFRACT
	3.5" x 18"	3.5" x 18"	3.5" x 18"
K	383.0	383.0	383.0
Alfa	-1.468	-1.468	-1.468

Q (Kg)	5.00	10.00	15.00
Dist. (m)	VPP (mm/s)	VPP (mm/s)	VPP (mm/s)
0.50	3452	5742	7733
0.60	2642	4394	5917
0.70	2107	3504	4719
0.80	1732	2880	3879
0.90	1457	2423	3263
1.00	1248	2076	2795
1.10	1085	1805	2430
1.20	955	1588	2139
1.30	849	1412	1902
1.40	762	1267	1706
1.50	688	1145	1541
1.60	626	1041	1402
1.70	573	953	1283
1.80	527	876	1179
1.90	486	809	1089
2.00	451	750	1010
2.50	325	541	728
3.00	249	414	557
3.50	198	330	444
4.00	163	271	365
4.50	137	228	307
5.00	118	195	263
5.50	102	170	229
6.00	90	150	201
6.50	80	133	179
7.00	72	119	161
7.50	65	108	145
8.00	59	98	132
8.50	54	90	121
9.00	50	82	111
9.50	46	76	103
10.00	42	71	95

Gráfico 4. 2 Niveles de daño modelamiento de campo lejano de devine muestra M1

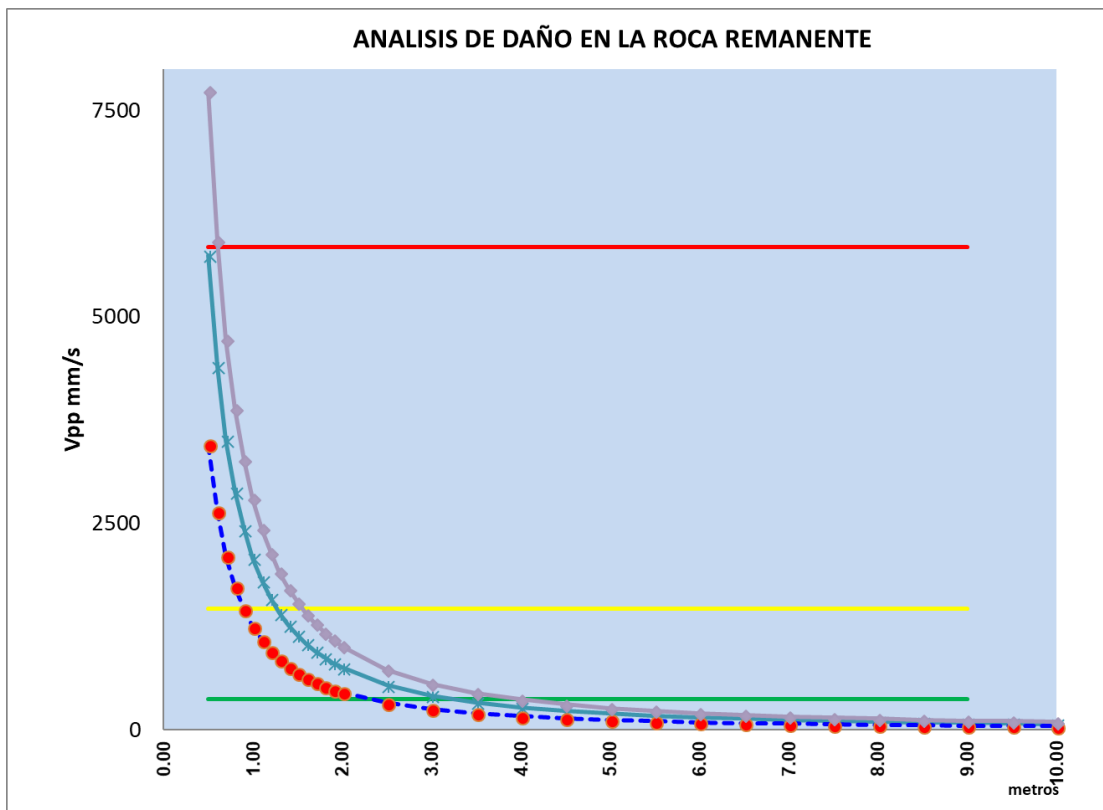




Gráfico 4. 3 Análisis de datos para el modelamiento de campo lejano de Devine muestra M5

RMR	55	55	55
PLASMA	PRIMAL FRACT	PRIMALFRACT	PRIMALFRACT
	3.5" x 18"	3.5" x 18"	3.5" x 18"
K	383.0	383.0	383.0
Alfa	-1.468	-1.468	-1.468
Q (Kg)	5.00	10.00	15.00
Dist. (m)	VPP (mm/s)	VPP (mm/s)	VPP (mm/s)
0.50	3452	5742	7733
0.60	2642	4394	5917
0.70	2107	3504	4719
0.80	1732	2880	3879
0.90	1457	2423	3263
1.00	1248	2076	2795
1.10	1085	1805	2430
1.20	955	1588	2139
1.30	849	1412	1902
1.40	762	1267	1706
1.50	688	1145	1541
1.60	626	1041	1402
1.70	573	953	1283
1.80	527	876	1179
1.90	486	809	1089
2.00	451	750	1010
2.50	325	541	728
3.00	249	414	557
3.50	198	330	444
4.00	163	271	365
4.50	137	228	307
5.00	118	195	263
5.50	102	170	229
6.00	90	150	201
6.50	80	133	179
7.00	72	119	161
7.50	65	108	145
8.00	59	98	132
8.50	54	90	121
9.00	50	82	111
9.50	46	76	103
10.00	42	71	95

Gráfico 4. 4 Niveles de daño modelamiento de campo lejano de devine  
muestra M5

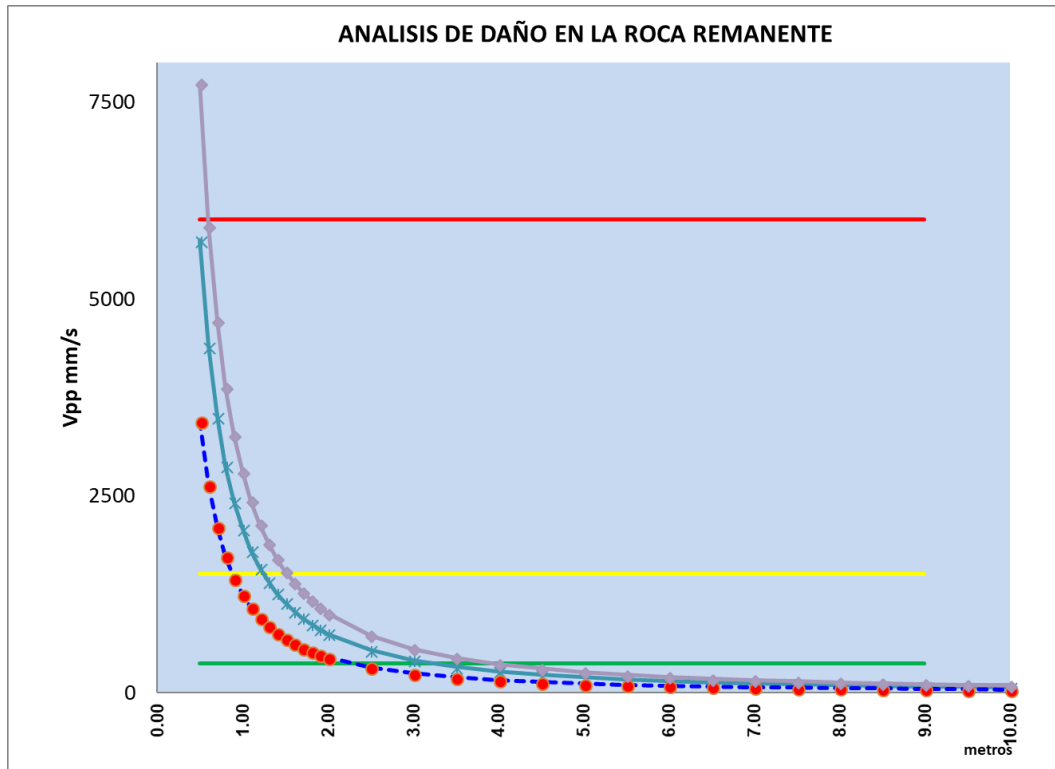
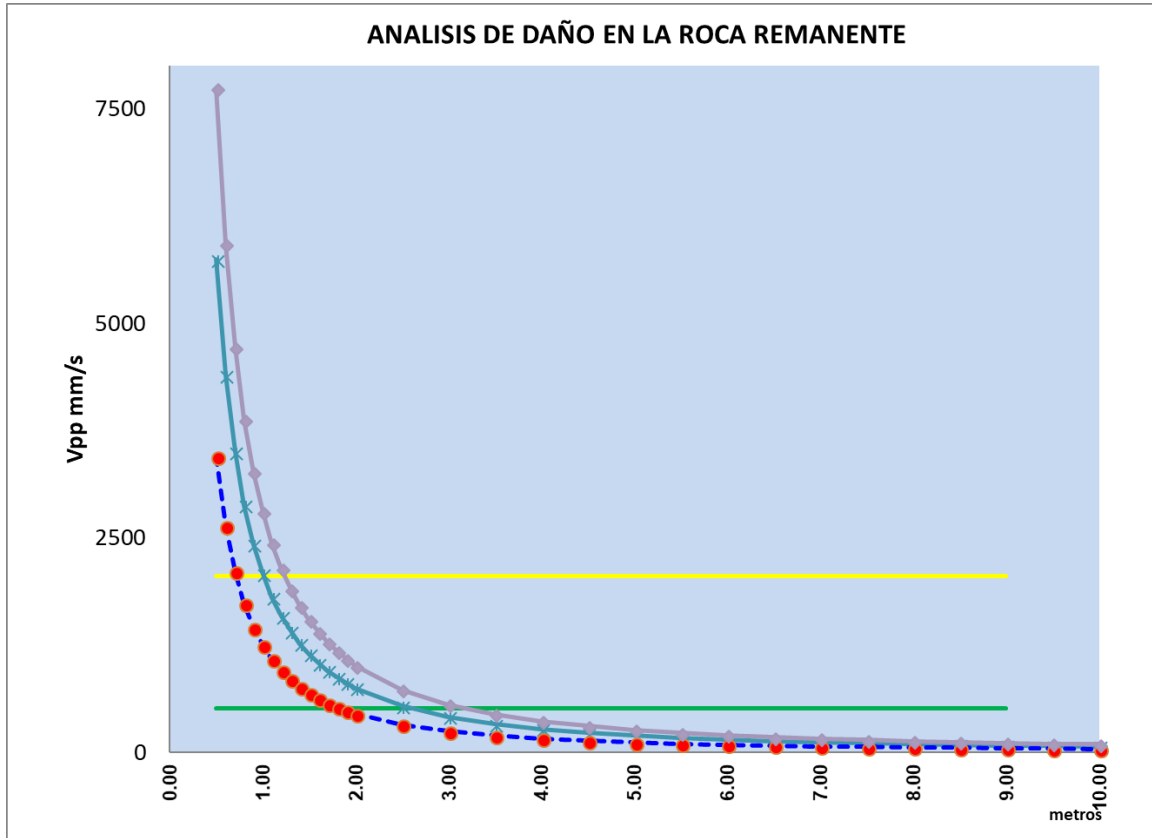


Tabla 4. 14 Análisis de datos para el modelamiento de campo lejano de devine muestra M6

<b>TIPO DE ROCA</b>			
<b>RMR</b>	<b>55</b>	<b>55</b>	<b>55</b>
<b>PLASMA</b>	<b>PRIMAL FRACT</b>	<b>PRIMALFRACT</b>	<b>PRIMALFRACT</b>
	<b>3.5" x 18"</b>	<b>3.5" x 18"</b>	<b>3.5" x 18"</b>
<b>K</b>	<b>383.0</b>	<b>383.0</b>	<b>383.0</b>
<b>Alfa</b>	<b>-1.468</b>	<b>-1.468</b>	<b>-1.468</b>
<b>Q (Kg)</b>	<b>5.00</b>	<b>10.00</b>	<b>15.00</b>
<b>Dist. (m)</b>	<b>VPP (mm/s)</b>	<b>VPP (mm/s)</b>	<b>VPP (mm/s)</b>
<b>0.50</b>	3452	5742	7733
<b>0.60</b>	2642	4394	5917
<b>0.70</b>	2107	3504	4719
<b>0.80</b>	1732	2880	3879
<b>0.90</b>	1457	2423	3263
<b>1.00</b>	1248	2076	2795
<b>1.10</b>	1085	1805	2430
<b>1.20</b>	955	1588	2139
<b>1.30</b>	849	1412	1902
<b>1.40</b>	762	1267	1706
<b>1.50</b>	688	1145	1541
<b>1.60</b>	626	1041	1402
<b>1.70</b>	573	953	1283
<b>1.80</b>	527	876	1179
<b>1.90</b>	486	809	1089
<b>2.00</b>	451	750	1010
<b>2.50</b>	325	541	728
<b>3.00</b>	249	414	557
<b>3.50</b>	198	330	444
<b>4.00</b>	163	271	365
<b>4.50</b>	137	228	307
<b>5.00</b>	118	195	263
<b>5.50</b>	102	170	229
<b>6.00</b>	90	150	201
<b>6.50</b>	80	133	179
<b>7.00</b>	72	119	161
<b>7.50</b>	65	108	145
<b>8.00</b>	59	98	132
<b>8.50</b>	54	90	121
<b>9.00</b>	50	82	111
<b>9.50</b>	46	76	103
<b>10.00</b>	42	71	95

Gráfico 4. 5 Niveles de daño modelamiento de campo lejano de devine muestra M6

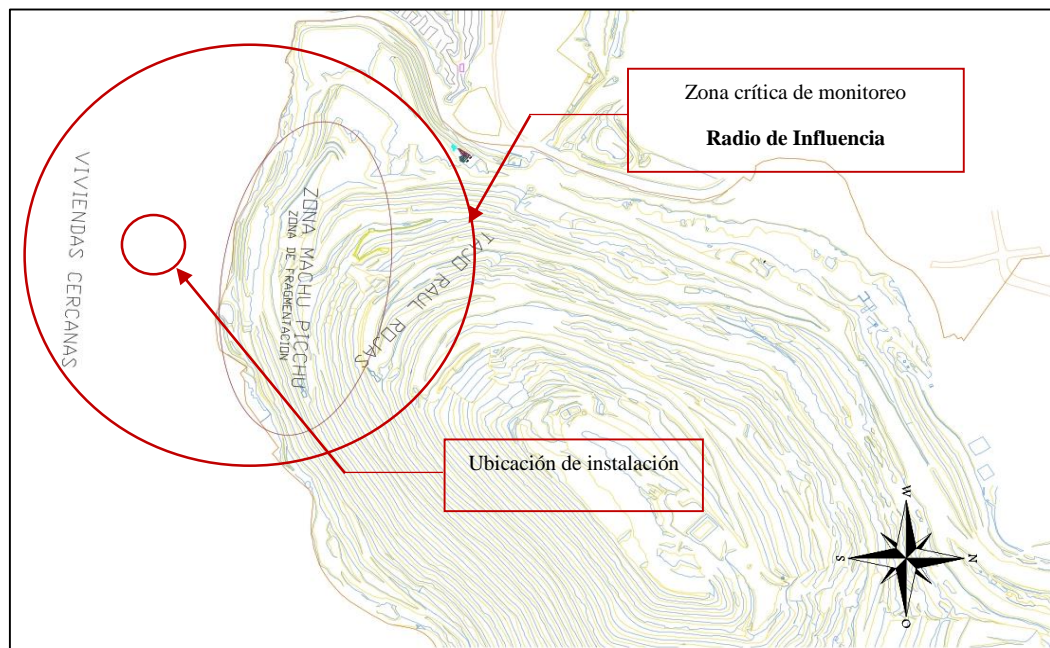


#### 4.2.5 Interpretación del análisis de vibraciones

#### 4.2.6 Zona critica de monitoreo

Para nuestra muestra se tomaron datos de monitoreo de la zona de Machu Picchu la cual está más cercana a la población, de este modo, consideramos que es una zona critica para realizar el monitoreo de vibraciones.

Plano 4. 1 Ubicación del Proyecto Óxidos Insitu



Fuente: archivo planeamiento CERRO S.A.C.

Figura 4. 21 Ubicación del Proyecto Óxidos Insitu



Fuente: Google Maps

#### 4.2.7 Diseños de anteproyecto

Dentro de la planificación, para una correcta ejecución de la fragmentación se diseñaron anteproyectos de acuerdo al diseño de planeamiento y a las condiciones que presentaba el terreno lo cuales fueron revisados y autorizados.

##### 4.2.7.1 Anteproyecto PYO-ZM-12-100319

El primer diseño propuesto de carguío de taladros fue de 4 capsulas de fondo y 3 capsulas en la parte superior, con taco intermedio de 0.8m y taco final de 2m.

Figura 4. 22 Diseño de anteproyecto PYO-ZM-12-100319

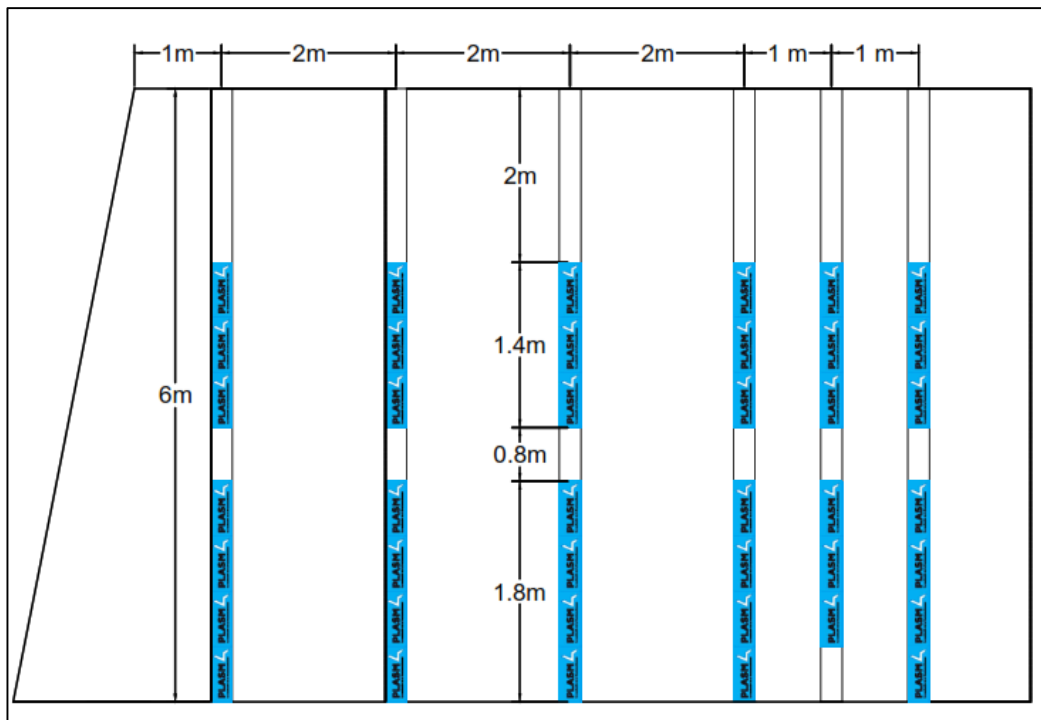


Tabla 4. 15 Parámetros diseño de anteproyecto PYO-ZM-12-100319

<b>Zona de Producción</b>	
<i>Parámetros Utilizados</i>	
Diámetro de perforación (pulg)	3 - 3.5"
Altura de perforación (m)	6
Densidad de la roca (TM/m <sup>3</sup> )	2.48
<i>Taladros de producción</i>	
Burden (m)	2
Espaciamiento (m)	2
Taco Final (m)	2
Taco Intermedio (m)	0.8
Nro. Cápsulas por taladro (Unid.)	7
Factor de carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.38
Factor de carga (kg/TM)	0.15
<i>Taladros de ayuda</i>	
Burden (m)	1
Espaciamiento (m)	2
Taco Final (m)	2
Taco Intermedio (m)	0.8
Nro. Cápsulas por taladro (Unid.)	6
Factor de carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.65
Factor de carga (kg/TM)	0.26

#### 4.2.7.2 Monitoreo de vibración fractura PYO-ZM-12-100319

Se hizo la instalación de sismógrafo cerca a la casa más próxima al proyecto con la finalidad de obtener los registros de vibraciones que puedan afectar las estructuras del mismo.

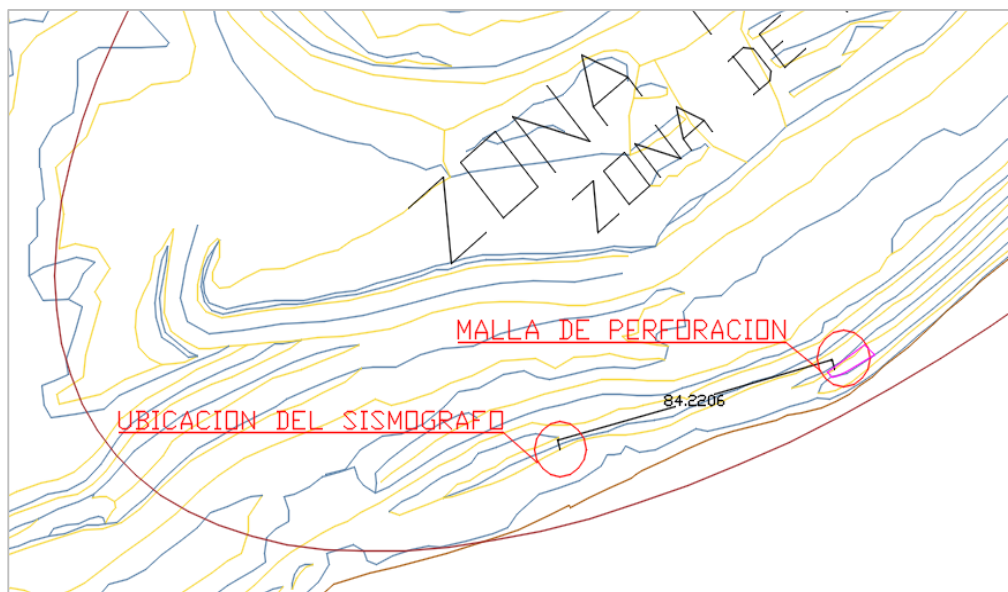
Tabla 4. 16 Parámetros de monitoreo anteproyecto PYO-ZM-12-100319

		Nro. Fractura	Distancia de monitoreo	Ubicación del sismógrafo	Tipo de sismógrafo
		ZM PY-012-100319	80	Oeste de la fractura	Superficial

Mes	Proyecto	Diámetro de Pozo (pulg.)	Longitud de pozo promedio (m)	Malla de perforación (B x S)		N° de pozos Total	N° cápsulas utilizadas	Volumen real (m3)	Factor de Carga (kg/m3)	Factor de Potencia (kg/ton)
				Burden (m)	Espaciamiento (m)					
Marzo	PY010-060319	3.5	6.5	2	2	37	216	962	0.29	0.12

Plano 4. 2 Ubicación zona anteproyecto PYO-ZM-12-100319



Fuente: archivo Ingeniería y Planeamiento CERRO S.A.C.



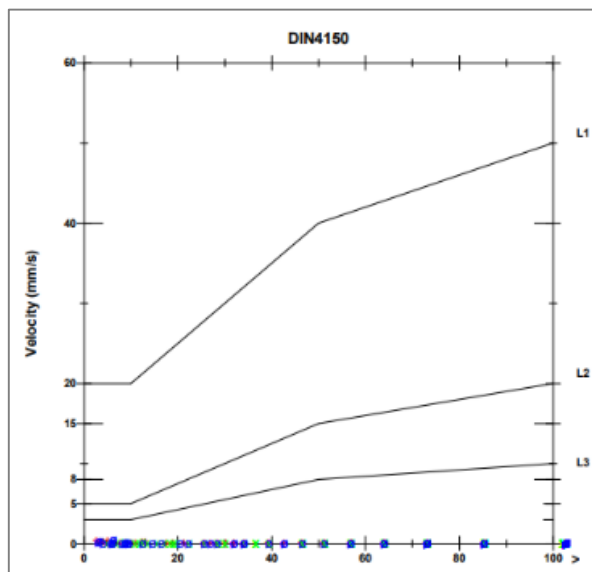
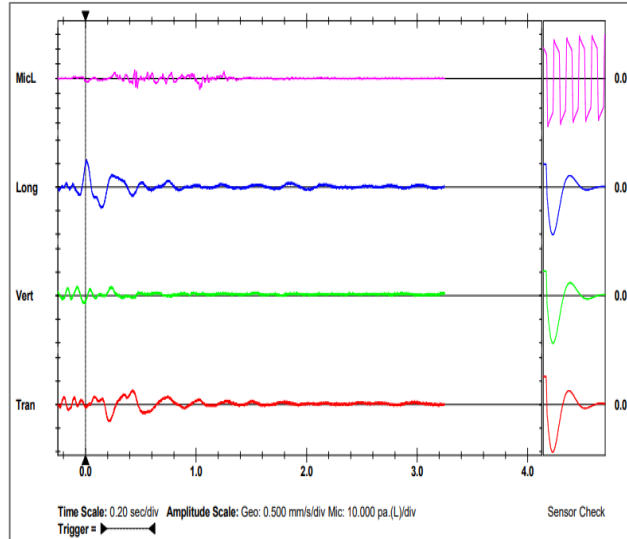
#### **4.2.7.3 Resultados de las vibraciones PYO-ZM-12-100319**

Sismograma de la fragmentación realizada con **37** taladros cargados de **3.5 pulg.** de diámetro, donde se utilizó **280.8 Kg.** De Plasma 4TH serie PRIMALFRACT, el mayor movimiento se registró en el eje de la Onda longitudinal con **0.587 mm/s.** y de **0.591 mm/s** en la Sumatoria de los Vectores; el Sismógrafo es instalado a una distancia aproximada de **80m** de la zona de fragmentación.

Se detallan los resultados del monitoreo de vibraciones de los disparos ejecutados:

Gráfico 4. 6 Resultados de monitoreo de vibraciones anteproyecto PYO-ZM-  
12-100319

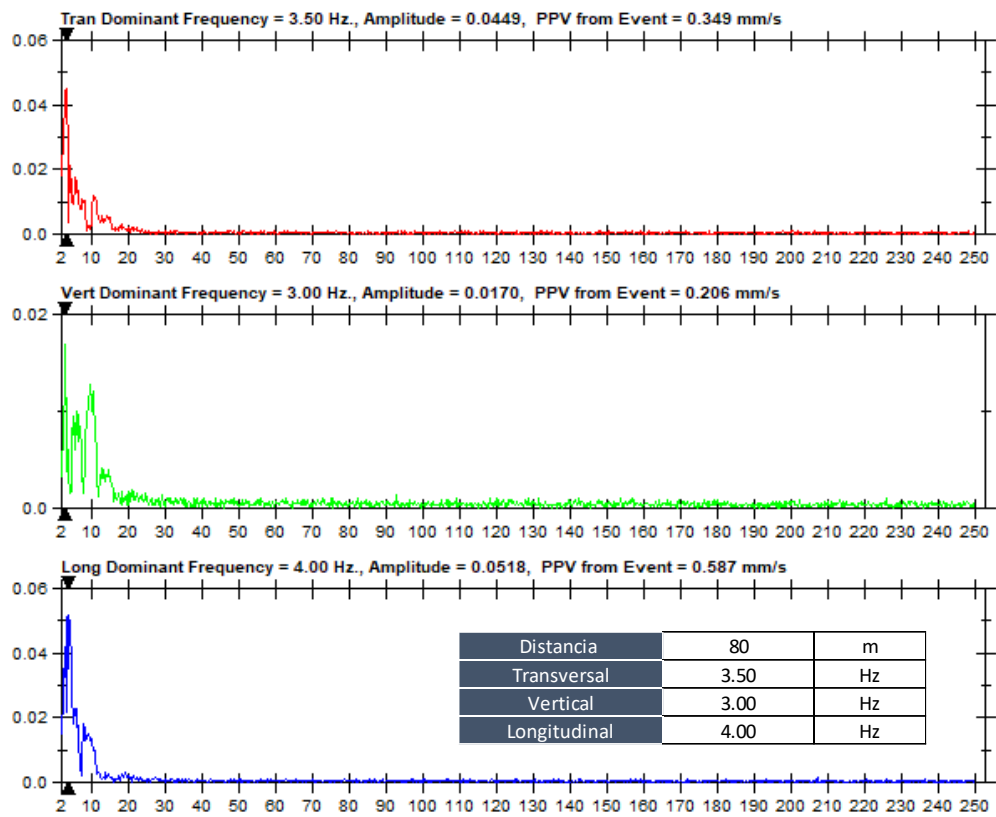
<b>Notes</b>			
Location:	Cerro de Pasco - Perú		
Client:	Cerro S.A.C.		
User Name:	Isaac Chavez		
General:	PYO-AZ-012-100319		
<b>Extended Notes</b>			
Microphone	Linear Weighting		
PSPL	111.2 dB(L) at 1.034 sec		
ZC Freq	9.5 Hz		
Channel Test	Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 596 mv )		
	<b>Tran</b>	<b>Vert</b>	<b>Long</b>
PPV	0.349	0.206	0.587 mm/s
ZC Freq	5.0	8.5	6.2 Hz
Time (Rel. to Trig)	0.207	-0.073	0.012 sec
Peak Acceleration	0.007	0.007	0.005 g
Peak Displacement	0.017	0.005	0.019 mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed
Frequency	7.9	7.5	7.5 Hz
Overswing Ratio	3.5	3.8	4.2
Peak Vector Sum	0.591 mm/s at 0.012 sec		



Fuente: archivo Enaex

#### 4.2.7.4 Resultado de frecuencias PYO-ZM-12-100319

Grafico 4. 7 Resultados de frecuencias anteproyecto PYO-ZM-12-100319



Fuente: archivo Enaex

#### 4.2.7.5 Resultados de la fragmentación PYO-ZM-12-100319

Figura 4. 23 Resultados de la fragmentación PYO-ZM-12-100319



Fuente: registro fotográfico Enaex

#### 4.2.7.6 Anteproyecto PYO-ZM-47-050619

El segundo diseño propuesto de carguío de taladros fue de 2 capsulas de fondo, 2 capsulas intermedias y 2 capsulas en la parte superior, con tacos intermedio de 0.7m y taco final de 1.8m. taladros de precorte de 2 capsulas de fondo y taco final de 1.6m

Figura 4. 24 Diseño de anteproyecto PYO-ZM-47-050619

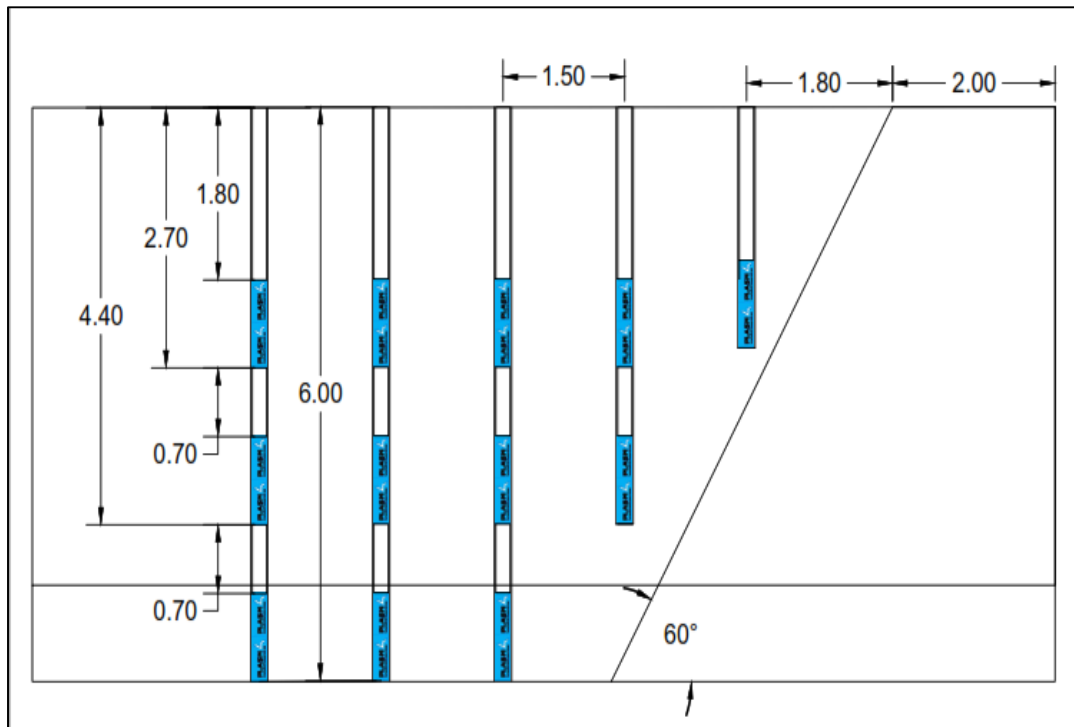


Tabla 4. 17 Parámetros diseño de ANTEPROYECTO PYO-ZM-47-050619

Diámetro de perforación	3.5	pulg
Densidad de la roca	2.48	TM/m <sup>3</sup>
Producción		
Altura de perforación	6	m
Burden	1.5	m
Espaciamiento	1.5	m

Tacos intermedios	1.8	m
Taco final	0.7	m
Nro. Capsulas	6	Unid.
Factor de Carga	0.58	Kg/m <sup>3</sup>
Factor de Carga	0.23	Kg/TM
Buffer		
Longitud de perforación	4.3	m
Burden	1.5	m
Espaciamiento	1.5	m
Taco final	1.8	m
Nro. Capsulas	2	Unid.
Factor de Carga	0.27	Kg/m <sup>3</sup>
Factor de Carga	0.46	Kg/TM
Precorte		
Longitud de perforación	2.5	m
Burden	1	m
Espaciamiento	1.8	m
Taco final	1.6	m
Nro. Capsulas	2	Unid.
Factor de Carga	0.58	Kg/m <sup>3</sup>
Factor de Carga	0.23	Kg/TM

Para el diseño de malla de perforación se realizará de acuerdo a los resultados de las vibraciones obtenidos anteriormente.

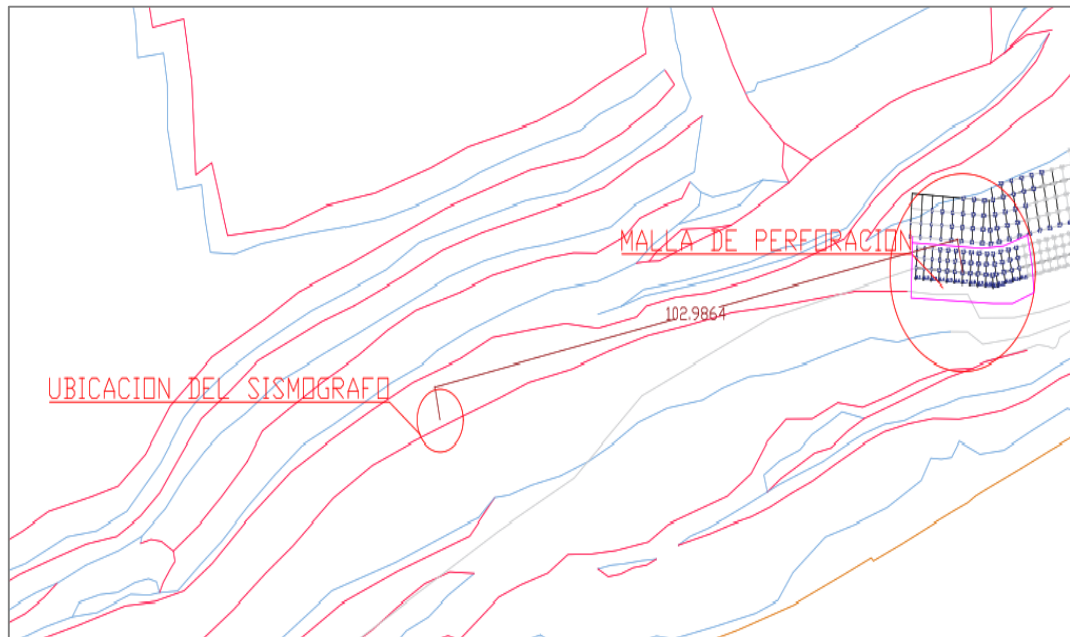
#### 4.2.7.7 Monitoreo de vibración fractura PYO-ZM-47-050619

Tabla 4. 18 Parámetros de monitoreo anteproyecto PYO-ZM-47-050619

Nro. Fractura	Distancia de monitoreo	Ubicación del sismógrafo	Tipo de sismógrafo
ZM PY-047-100319	100 m	Oeste de la fractura	Superficial

Etiquetas de fila	Nro. Taladros	Nro. Capsulas (Unid.)	Cantidad de Plasma (kg)	Volumen removido (m3)	Tonelaje removido (TM)	Factor de carga (kg/m3)	Factor de carga (kg/TM)
Taladros de Ayuda	3	14	18.20	28.13	70.59	0.65	0.26
Taladros de Producción	50	227	295.10	508.95	1277.46	0.58	0.23
Taladros de Buffer	11	30	39.00	74.70	187.50	0.52	0.21
Taladros Adicionales	8	38	49.40	84.60	212.35	0.58	0.23
<b>Total general</b>	<b>72</b>	<b>309</b>	<b>401.70</b>	<b>696.38</b>	<b>1747.90</b>	<b>0.58</b>	<b>0.23</b>

Plano 4. 3 Ubicación zona anteproyecto PYO-ZM-47-050619



Fuente: archivo Ingeniería y Planeamiento CERRO S.A.C.

#### **4.2.7.8 Resultado de las vibraciones PY0-ZM-47-050619**

Sismograma de la fragmentación realizada con **72** taladros cargados de **3.5 pulg.** de diámetro, donde se utilizó **401.7 Kg.** de Plasma 4TH serie PRIMALFRACT, el mayor movimiento se registró en el eje de la Onda longitudinal con **0.651 mm/s.** y de **0.663 mm/s** en la Sumatoria de los Vectores; el Sismógrafo es instalado a una distancia aproximada de **100m** de la zona de fragmentación.

Se detalla los resultados del monitoreo de vibraciones de los disparos ejecutados:

Gráfico 4. 8 Resultados de monitoreo de vibraciones anteproyecto PYO-ZM-47-050619

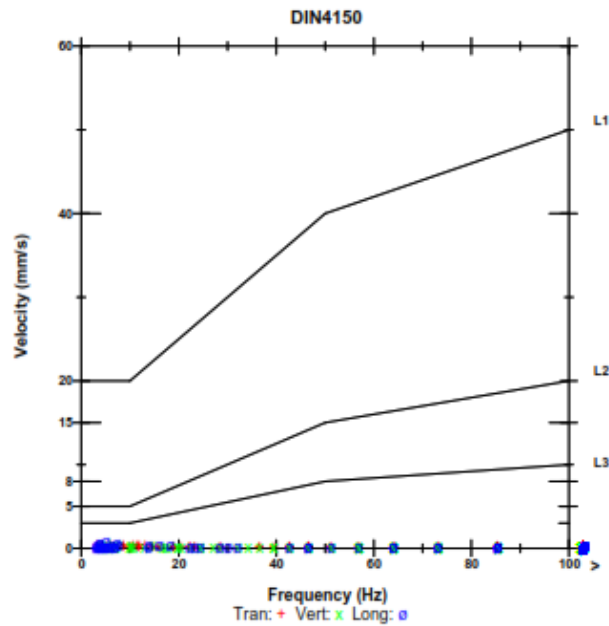
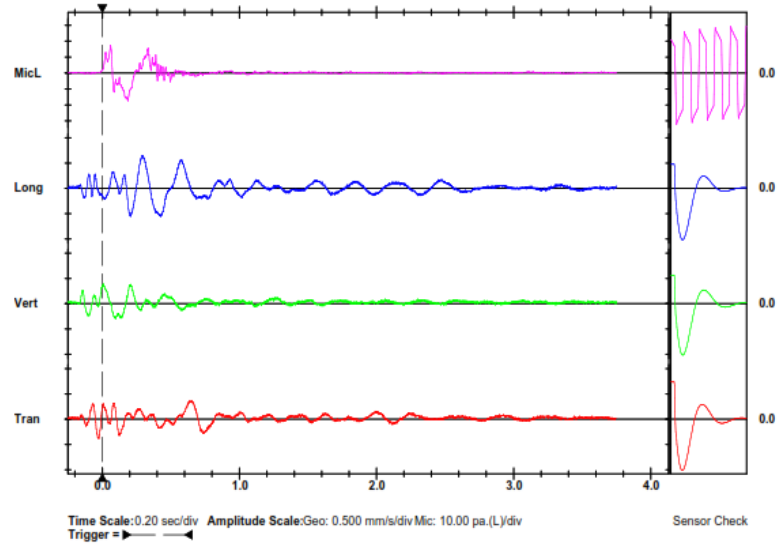
**Notes**

Location: Cerro de Pasco - Perú  
 Client: Cerro S.A.C.  
 User Name: Isaac Chavez  
 General: PYO-AZ-012-100319

**Extended Notes**

**Microphone** Linear Weighting  
**PSPL** 17.5 pa.(L) at 0.061 sec  
**ZC Freq** 5.0 Hz  
**Channel Test** Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 630 mv)

	Tran	Vert	Long	
<b>PPV</b>	0.381	0.397	0.651	mm/s
<b>ZC Freq</b>	12	6.2	5.0	Hz
<b>Time (Rel. to Trig)</b>	-0.030	0.009	0.291	sec
<b>Peak Acceleration</b>	0.00994	0.00497	0.00663	g
<b>Peak Displacement</b>	0.0144	0.0108	0.0231	mm
<b>Sensor Check</b>	Passed	Passed	Passed	
<b>Frequency</b>	7.9	7.4	7.4	Hz
<b>Overswing Ratio</b>	3.5	3.8	4.2	
<b>Peak Vector Sum</b>	0.663 mm/s at 0.286 sec			



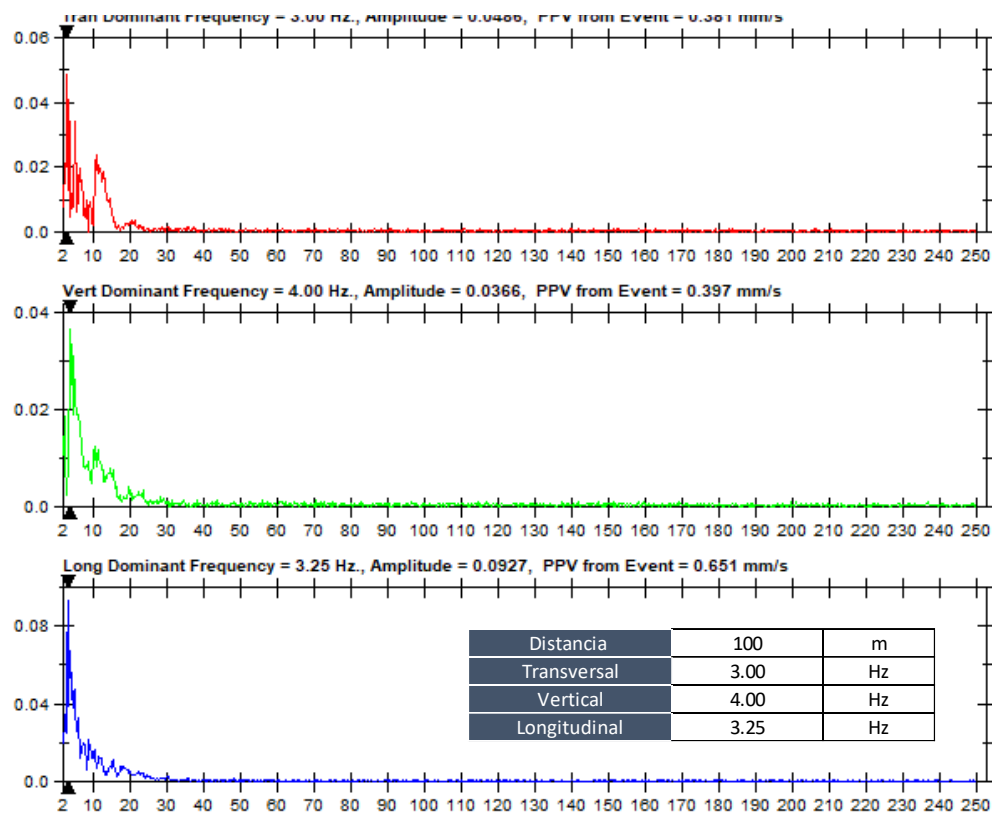
Fuente: archivo Enaex



Obtenido todos los registros del tiempo de monitoreo, se procede a analizar componente por componente y determinar su vector suma para cada evento registrado. En general, para cada medición se obtendrá una suma del VPP (Velocidad Pico Partícula), valores que servirán para determinar de forma cualitativa si la vibración inducida ocasionado por la fragmentación de rocas y si están generando algún daño a las estructuras circundantes.

#### 4.2.7.9 Resultado de frecuencias PYO-ZM-47-050619

Grafico 4. 9 Resultados de frecuencias anteproyecto PYO-ZM-47-050619



Fuente: archivo Enaex

#### 4.2.7.10 Resultados de la fragmentación PYO-ZM-47-050619

Figura 4. 25 Resultados de la fragmentación PYO-ZM-47-050619



Fuente: registro fotográfico Enaex

### 4.3 Prueba de hipótesis

#### 4.3.1 Planteamiento:

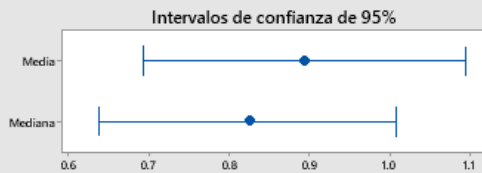
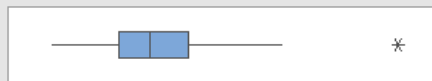
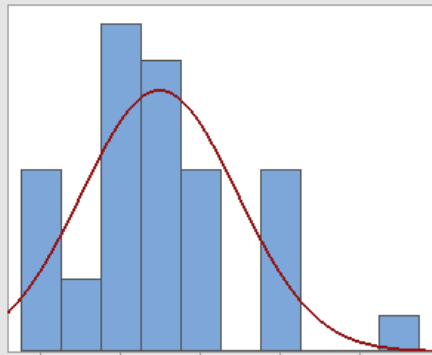
**Ho:** Con el modelo predictivo de vibraciones no se puede calcular la cantidad de plasma necesaria para evitar los daños a las viviendas cercanas al Proyecto Oxido Insitu

**Ha:** Con el modelo predictivo de vibraciones se puede calcular la cantidad de plasma necesaria para evitar los daños a las viviendas cercanas al Proyecto Óxidos Insitu

$$\mathbf{Ho = 1.5}$$

$$\mathbf{Ha \neq 1.5}$$

## Informe de resumen de Nivel de vibracion



### Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado 0.82  
Valor p 0.032

Media 0.89426  
Desv.Est. 0.58365  
Varianza 0.34064  
Asimetria 0.96669  
Curtosis 1.38464  
N 35

Mínimo 0.08500  
1er cuartil 0.58700  
Mediana 0.82600  
3er cuartil 1.11100  
Máximo 2.69800

### Intervalo de confianza de 95% para la media

0.69377 1.09475

### Intervalo de confianza de 95% para la mediana

0.63875 1.00874

### Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

0.47210 0.76470

Nivel de significancia 0.05

## Interpretación

### Z de una muestra: Nivel de vibracion

#### Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
35	0.8943	0.5836	0.0987	(0.7009, 1.0876)

$\mu$ : media de Nivel de vibracion

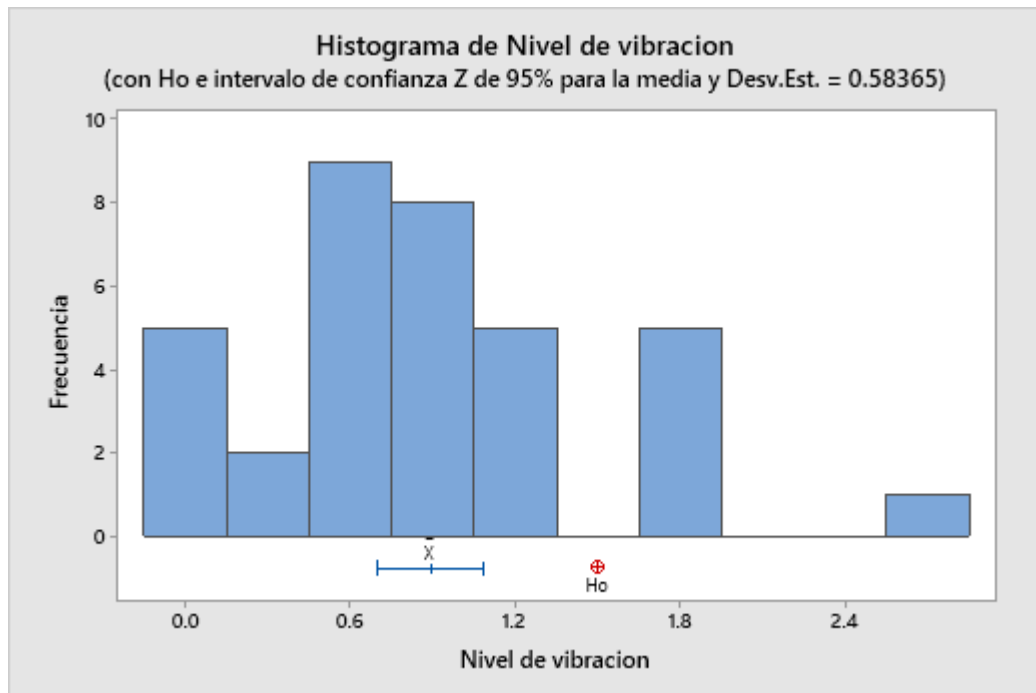
Desviación estándar conocida = 0.58365

#### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 1.5$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu \neq 1.5$

Valor Z	Valor p
-6.14	0.000



La prueba del análisis de varianzas, con su valor ( $P < 0,05$ ), confirma el rechazo de la Hipótesis Nula ( $H_0$ ) y por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), confirmado si es factible hacer un modelo predictivo de vibraciones que pueda controlar el daño a las estructuras de las viviendas cercanas al proyecto (con una probabilidad al 95%), se podría decir que las datas tienen correlación, así mismo el resultado confirma lo esperado.

### 4.3.2 Conclusión

“Con el modelo predictivo permite establecer la cantidad de plasma que se utilizara en la fragmentación de rocas disminuyendo y evitando que se afecten las estructuras de las viviendas cercanas al Proyecto Oxidos Insitu”

### 4.3.3 Daño a las viviendas cercanas al proyecto

Según la Norma Alemana DIN 4150, y de acuerdo a los registros obtenidos, podemos afirmar que no se genera daño a las estructuras cercanas al proyecto. Esto hace

evidencia que la operación de fragmentación de rocas en el Proyecto Óxidos Insitu es segura ya que no genera daños a las viviendas que se encuentran cerca al proyecto

Tabla 4. 19 Niveles de daño NORMA DIN 4150

Tipo de Estructura	Frecuencias Principales (Hz)		
	< 10	50	> 100
	Velocidad [mm/s]		
I. Edificios públicos o industriales.	20	40	50
II. Edificios de viviendas o asimilables a viviendas.	5	15	20
III. Edificios históricos o que por su construcción son sensibles a las vibraciones y no entran en el rango de los Tipos I y II.	3	8	10

Gráfico 4. 10 Niveles de daño NORMA DIN 4150

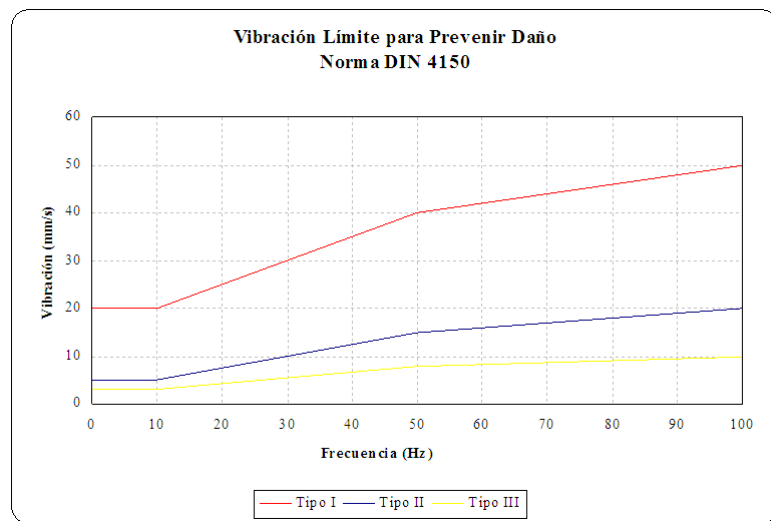


Tabla 4. 20 Base de datos de registro de vibraciones

Proyecto	Hora	Diámetro de Poz	Longitud de poz	Burden (m)	Espaciamiento (m)	Taco Final Promedio	Numero de	N° de cápsulas utilizadas	Kilogramos de Plasma promedio	Carga utilizada (k)	Distancia (m)	PVS (mm/s)
PY004-27012019	17:18	3.5	3.0	1.5	1.5	1.6	8	22	3.58	29	30	1.743
PY011-08032019	17:20	3.5	5.3	2.0	2.0	2.2	67	267	5.18	347	40	24.02
PY012-10032019	16:52	3.5	6.5	2.0	2.0	2.5	37	216	7.59	281	80	0.591
PY013-12032019	18:10	3.5	6.5	2.0	2.0	2.3	41	239	7.58	311	120	1.045
PY018-21032019	14:58	4.0	3.1	2.0	2.0	1.7	12	34	3.68	44	140	0.449
PY019-23032019	14:49	4.0	7.0	2.0	2.0	1.8	37	267	9.38	347	130	0.795
PY026-13042019	17:07	3.5	8.0	1.5	1.5	1.8	27	208	10.01	270	150	0.104
PY027-16042019	16:25	3.5	6.5	1.5	1.5	1.8	40	229	7.44	298	150	1.694
PY028-18042019	15:41	4.0	5.0	1.5	1.5	1.8	55	244	5.81	320	120	0.684
PY036-09052019	17:38	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	32	154	6.26	200	100	2.698
PY037-18052019	15:52	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	30	115	4.98	150	250	0.106
PY038-20052019	16:25	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	48	226	6.12	294	250	0.587
PY039-21052019	18:03	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	37	178	6.25	231	250	0.609
PY040-23052019	17:59	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	41	230	7.29	299	250	4.371
PY041-25052019	12:09	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	40	230	7.48	299	250	1.284
PY042-27052019	17:47	3.5	8.0	2.0	2.0	1.8	25	155	8.06	202	250	0.098
PY043-30052019	12:51	3.5	8.0	2.0	2.0	1.8	39	300	10.00	390	120	0.566
PY044-01062019	09:50	3.5	5.0	2.0	2.0	1.8	56	244	5.66	317	100	0.841
PY045-03062019	10:36	3.5	5.0	2.0	2.0	1.8	48	211	5.71	274	120	0.629
PY047-05062019	17:30	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	72	309	5.58	402	100	0.663
PY048-07062019	17:30	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	72	335	6.05	436	120	0.661
PY049-08062019	12:38	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	24	93	5.04	121	50	0.826
PY050-11062019	17:33	3.5	7.0	2.0	2.0	1.8	22	218	12.88	283	30	6.456
PY051-12062019	18:04	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	30	186	8.06	242	100	1.296
PY052-14062019	16:06	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	7	37	6.87	48	100	1.102
PY053-15062019	12:36	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	28	177	8.22	230	150	0.851
PY055-19062019	17:00	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	36	228	8.23	296	100	1.806
PY056-21062019	12:08	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	37	157	5.52	204	100	0.926
PY058-28062019	15:19	3.5	4.8	1.5	1.5	1.8	27	129	6.21	168	100	0.827
PY063-12072019	08:42	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	41	151	4.79	196	100	0.383
PY064-14072019	12:21	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	81	373	5.99	485	100	1.661
PY065-16072019	18:08	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	76	346	5.92	450	100	1.796
PY066-18072019	12:14	3.5	4.0	1.5	1.5	1.8	24	98	5.31	127	80	1.111
PY068-20072019	15:40	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	54	179	4.31	233	100	0.745
PY069-22072019	06:30	3.5	6.0	1.5	1.5	1.8	36	176	6.36	229	280	0.095
PY070-25072019	09:19	3.5	6.0	1.5	1.5	1.8	56	396	9.19	515	100	1.071
PY072-27072019	12:08	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	59	387	8.53	503	100	0.871
PY073-31072019	12:14	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	27	207	9.97	269	140	0.085

Ver Anexo V

### 4.3.4 Criterio de daño al talud

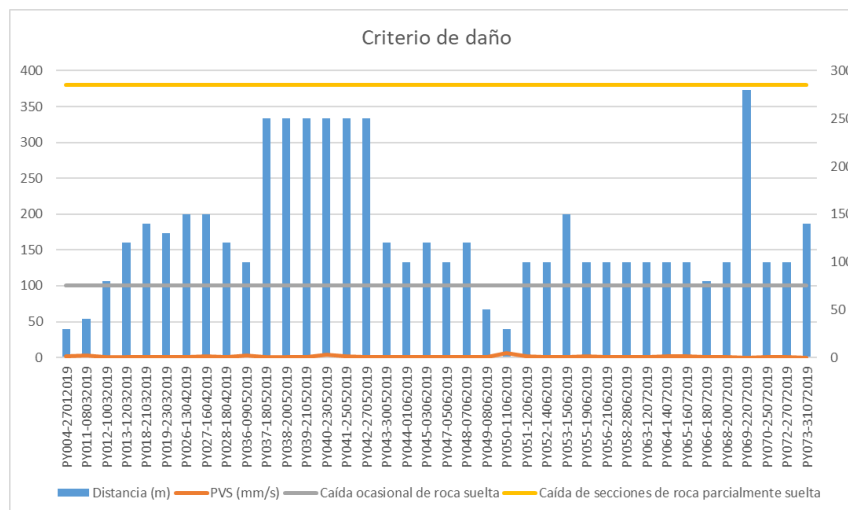
Para determinar si existe algún daño al talud tomamos referencia el criterio de Oriard.

Teniendo como resultado registro de vibraciones que se genera está por debajo de los límites de daño

Tabla 4. 21 Cuadro de registro de vibraciones

Forma de daño	Velocidad de partícula (mm/s)
Caída ocasional de roca suelta	5 - 100
Caída de secciones de roca parcialmente suelta	130 - 380
Daño a rocas poco competentes	>600
Daño significativo a rocas competentes	>2500

Gráfico 4. 11 Niveles de daño



Se puede observar que los niveles de daño hacia el talud están por muy debajo de los niveles que puedan causar daño.

Figura 4. 26 Control de daño al talud



Fuente: registro fotográfico Enaex

Como resultado no se evidencia daños al talud por tener niveles de vibración debajo de lo niveles de daño

#### **4.3.5 Diseño de malla de perforación**

De acuerdo a los resultados obtenidos del segundo diseño, se evidencia que hay una mejora considerable en cuanto a la fragmentación y evitando el daño a las paredes del talud.



#### **4.4 Discusión de resultados**

El anteproyecto PYO-ZM-12-100319 nos dio como resultado de vibración a una distancia de 80m, un registro vector suma igual 0.591 mm/s, lo cual se hace imperceptible, sin embargo, los resultados de fragmentación no fueron los esperados, estos valores fueron útiles para ajustar el modelo y proponer otro diseño.

El anteproyecto PYO-ZM-47-050619, nos dio como resultado de vibración a una distancia de 100m, un registro vector suma igual **0.663 mm/s**, nivel de vibración muy bajo. Este diseño tuvo mejores resultados en cuanto a fragmentación.

Con el modelo propuesto se obtuvo una mejora considerable al diseño anterior PYO-ZM-47-050619 en cuanto a resultados de fragmentación.

Los resultados del modelo matemático de Devine pone en evidencia que los niveles de vibraciones son considerablemente bajos en comparación al uso de explosivos.

## CONCLUSIONES

- Con los resultados obtenidos se ha logrado determinar el nivel de daño a las viviendas en el Proyecto Oxidos In situ; comparativamente entre los diseños evaluados por separado a partir de los modelos de atenuación obtenidos del monitoreo de vibraciones; con estos resultados podemos predecir si la cantidad de plasma por retardo que se va a utilizar puede afectar a las estructuras de viviendas cercanas al Proyecto.
- Con los diseños propuestos las vibraciones de disparos, no generan ninguna perturbación a las estructuras de las viviendas cercanas al proyecto, ya que los valores resultantes se encuentran por muy debajo del umbral de daño según la Norma DIN 4150.
- Comparando con las normas internacionales vigentes en el control de vibraciones se tiene que los valores de esta de la fragmentación de rocas están por debajo de los valores máximos permisibles.
- El modelo predictivo de daño por vibraciones es directamente dependiente del comportamiento de las vibraciones en cada tipo de roca, por lo que se puede tomar como referencia los resultados obtenidos para su aplicación en otras minas.
- El establecer puntos de monitoreo en zonas críticas nos permite conocer la realidad de la problemática con la finalidad de controlar los daños, esto es

importante ya que esto se contribuye al bienestar y asegura la continuidad de la operación.

## **RECOMENDACIONES**

A continuación, detallaremos las recomendaciones:

- Para incrementar el grado de confiabilidad de los modelos predictivos, se recomienda contar con una cantidad mayor a 15 registros de vibraciones a diferentes distancias de la zona de fragmentación de preferencia menores o igual a 100 metros para aproximar el comportamiento de las vibraciones en campo lejano.
- A modo general, se puede reducir los efectos de las vibraciones mediante una adecuada campaña de monitoreo, Cabe mencionar que la evaluación y el modelo propuesto puede tener resultados óptimos siempre en cuando se tenga registros fidedignos; por lo que se recomienda que los monitoreos de vibraciones sean realizados por personal capacitado.
- Finalmente se recomienda realizar monitoreos en puntos más críticos y así determinar un mejor análisis de daño inducido por la fragmentación de rocas.

## BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, J. B. (2013). *PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS EN MINERÍA*. Madrid: E.T.S. DE INGENIEROS DE MINAS DE MADRID .

Enaex, C. d. (2005). *Manual de Monitoreo de Vibraciones Generadas por Voladuras, Análisis y Modelamiento*. Chile: Blastechology A.B.N.

*Estado del arte de la voladura*. (1994). Santiago de Chile: Enaex S.A.

Gupta, R. (2016)). *Emerging explosives and initiation devices for increased safety, reliability and performance for excavation in weak rocks, mining and close to surface structures*. Kolar Gold Fields, India: Recent Advances in Rock Engineering.

Jimeno, L. (s.f.). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid: Instituto geológico y minero de España.

Q., M. R. (2003). Método Alternativo de Fragmentación: Excavación fuera de peligro. *BIT*, 48-49.

# **ANEXOS**

## Anexo I Cuadro de análisis de registro de vibraciones

Datos de campo					MODELO DEVINE	
Fractura	Equipo	V (mm/s)	D (m)	W (Kg)	Eje (x)	Eje (y)
		Vel. Pico Particula	Distancia Monitoreo	(Peso maxretardo)	De = $DW^{(1/2)}$	VPP (mm/s)
					Distancia escalar	Vel. Pico Particula
PY012-10032019	Instantel	0.591	80	281	4.77	0.59
PY013-12032019	Instantel	1.045	120	311	6.81	1.05
PY018-21032019	Instantel	0.449	140	44	21.06	0.45
PY019-23032019	Instantel	0.795	130	347	6.98	0.80
PY026-13042019	Instantel	0.104	150	270	9.12	0.10

## Anexo II Cuadro de análisis de registro de vibraciones



# Anexo III Registro de vibraciones PYO-ZM-12-100319



## Event Report

**Date/Time** Long at 16:52:27 March 10, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.500 mm/s, Mic: 148.0 dB(L)  
**Range** Geo: 31.75 mm/s  
**Record Time** 3.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
**Job Number:** 1

**Serial Number** BE21466 V 10.72-8.17 MiniMate Plus  
**Battery Level** 6.2 Volts  
**Unit Calibration** August 10, 2018 by Geoinstruments  
**File Name** \_\_TEMP.EVT

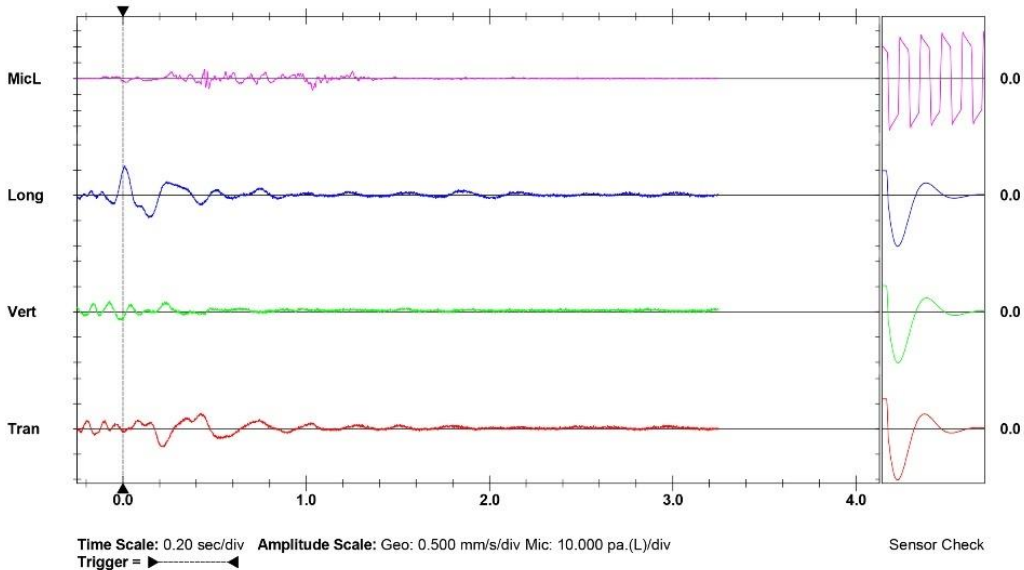
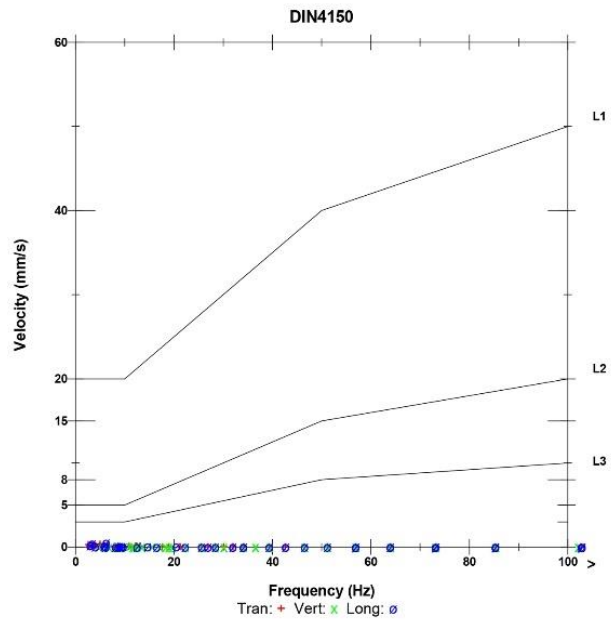
**Notes**  
 Location: Cerro de Pasco - Perú  
 Client: Cerro S.A.C.  
 User Name: Isaac Chavez  
 General: PYO-AZ-012-100319

### Extended Notes

**Microphone** Linear Weighting  
**PSPL** 111.2 dB(L) at 1.034 sec  
**ZC Freq** 9.5 Hz  
**Channel Test** Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 596 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.349	0.206	0.587	mm/s
ZC Freq	5.0	8.5	6.2	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.207	-0.073	0.012	sec
Peak Acceleration	0.007	0.007	0.005	g
Peak Displacement	0.017	0.005	0.019	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.9	7.5	7.5	Hz
Overswing Ratio	3.5	3.8	4.2	

Peak Vector Sum 0.591 mm/s at 0.012 sec



# Anexo IV Registro de vibraciones PYO-ZM-47-050619



## Event Report

**Date/Time** MicL at 17:30:04 June 5, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.500 mm/s, Mic: 2.00 pa.(L)  
**Range** Geo: 31.7 mm/s  
**Record Time** 3.75 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
**Job Number:** 1

**Serial Number** BE21466 V 10.72-8.17 MiniMate Plus  
**Battery Level** 6.1 Volts  
**Unit Calibration** August 10, 2018 by Geoinstruments  
**File Name** W466HYSO.M40

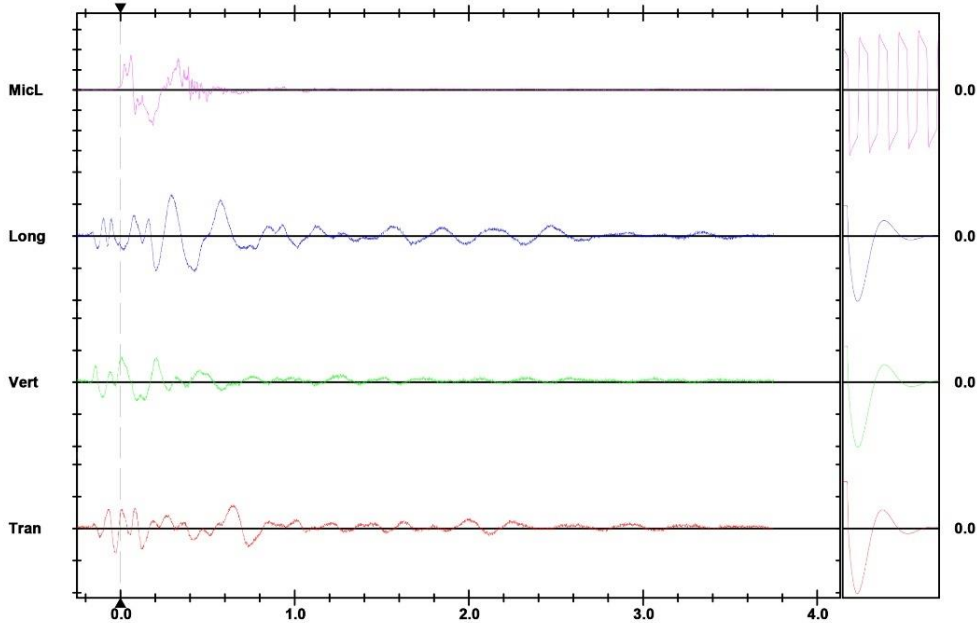
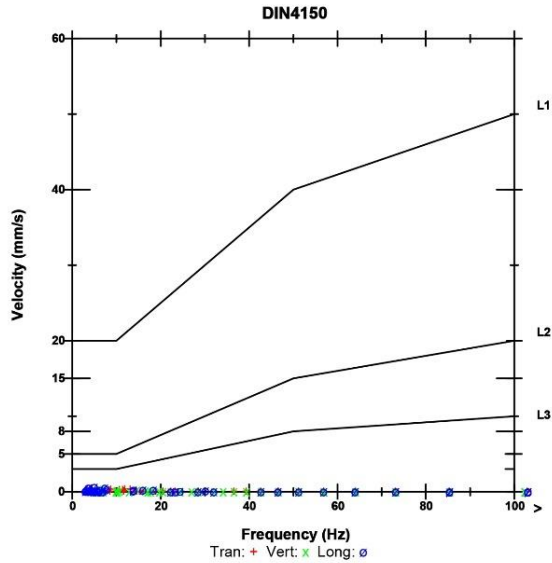
**Notes**  
 Location: Cerro de Pasco - Perú  
 Client: Cerro S.A.C.  
 User Name: Isaac Chavez  
 General: PYO-AZ-012-100319

### Extended Notes

**Microphone** Linear Weighting  
**PSPL** 17.5 pa.(L) at 0.061 sec  
**ZC Freq** 5.0 Hz  
**Channel Test** Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 630 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.381	0.397	0.651	mm/s
ZC Freq	12	6.2	5.0	Hz
Time (Rel. to Trig)	-0.030	0.009	0.291	sec
Peak Acceleration	0.00994	0.00497	0.00663	g
Peak Displacement	0.0144	0.0108	0.0231	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.9	7.4	7.4	Hz
Overswing Ratio	3.5	3.8	4.2	

**Peak Vector Sum** 0.663 mm/s at 0.286 sec



**Time Scale:** 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 0.500 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div  
**Trigger** =

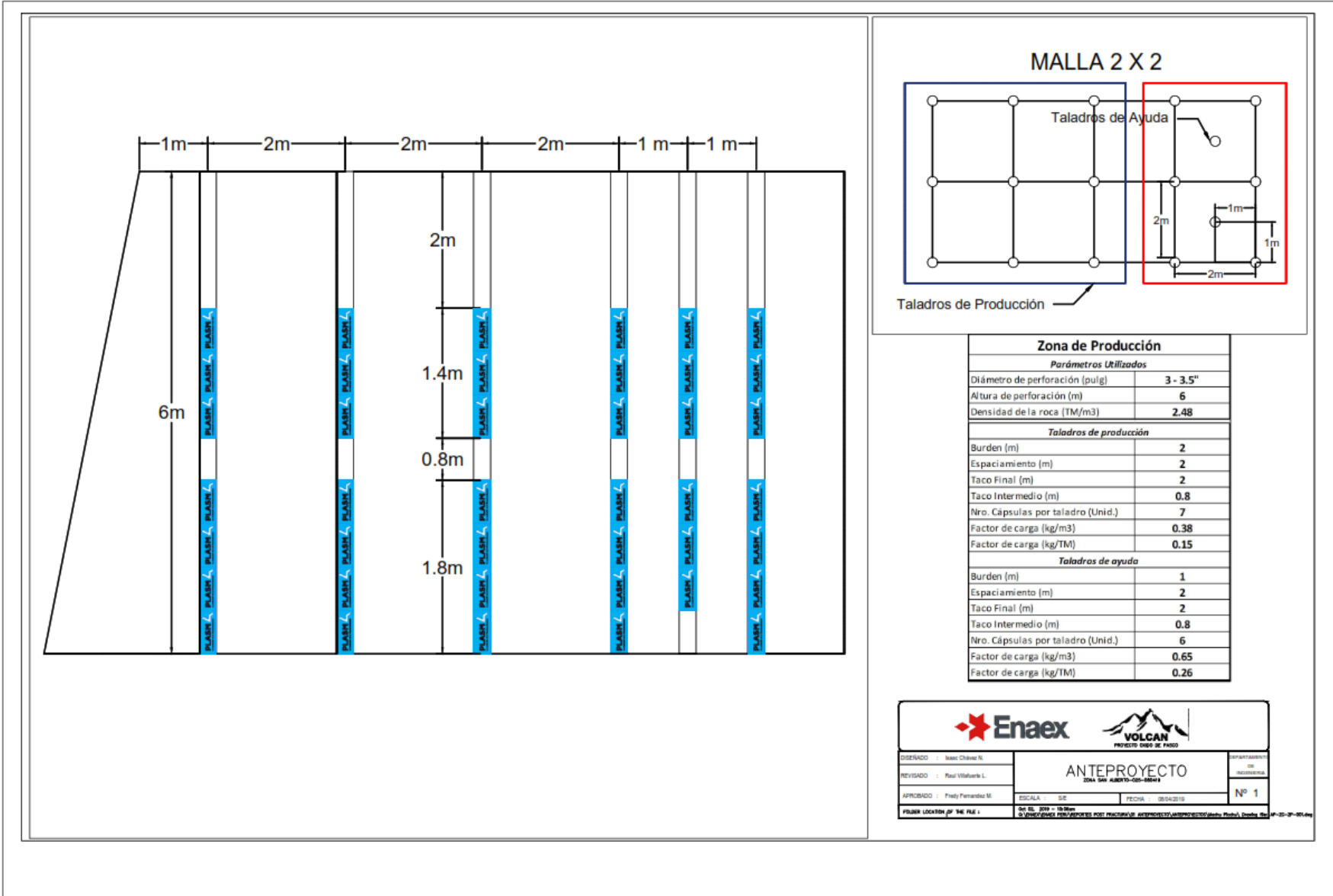
Sensor Check



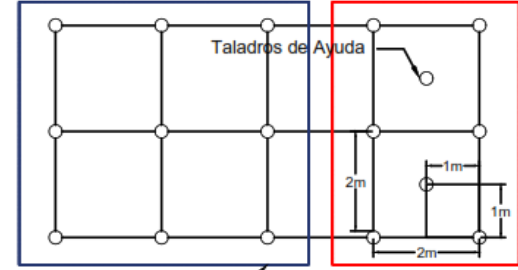
## Anexo V Base de datos

Proyecto	Hora	Diámetro de Poz	Longitud de poz	Burden (m)	Espaciamiento (m)	Taco Final Promed	Numero de	N° de cápsulas utilizadas	Kilogramos de Plasma promed	Carga utilizada (k)	Distancia (m)	PVS (mm/c)
PY004-27012019	17:18	3.5	3.0	1.5	1.5	1.6	8	22	3.58	29	30	1.743
PY011-08032019	17:20	3.5	5.3	2.0	2.0	2.2	67	267	5.18	347	40	24.02
PY012-10032019	16:52	3.5	6.5	2.0	2.0	2.5	37	216	7.59	281	80	0.591
PY013-12032019	18:10	3.5	6.5	2.0	2.0	2.3	41	239	7.58	311	120	1.045
PY018-21032019	14:58	4.0	3.1	2.0	2.0	1.7	12	34	3.68	44	140	0.449
PY019-23032019	14:49	4.0	7.0	2.0	2.0	1.8	37	267	9.38	347	130	0.795
PY026-13042019	17:07	3.5	8.0	1.5	1.5	1.8	27	208	10.01	270	150	0.104
PY027-16042019	16:25	3.5	6.5	1.5	1.5	1.8	40	229	7.44	298	150	1.694
PY028-18042019	15:41	4.0	5.0	1.5	1.5	1.8	55	246	5.81	320	120	0.684
PY036-09052019	17:38	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	32	154	6.26	200	100	2.698
PY037-18052019	15:52	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	30	115	4.98	150	250	0.106
PY038-20052019	16:25	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	48	226	6.12	294	250	0.587
PY039-21052019	18:03	3.5	5.3	2.0	2.0	1.8	37	178	6.25	231	250	0.609
PY040-23052019	17:59	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	41	230	7.29	299	250	4.371
PY041-25052019	12:09	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	40	230	7.48	299	250	1.284
PY042-27052019	17:47	3.5	8.0	2.0	2.0	1.8	25	155	8.06	202	250	0.098
PY043-30052019	12:51	3.5	8.0	2.0	2.0	1.8	39	300	10.00	390	120	0.566
PY044-01062019	09:50	3.5	5.0	2.0	2.0	1.8	56	244	5.66	317	100	0.841
PY045-03062019	10:36	3.5	5.0	2.0	2.0	1.8	48	211	5.71	274	120	0.629
PY047-05062019	17:30	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	72	309	5.58	402	100	0.663
PY048-07062019	17:30	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	72	335	6.05	436	120	0.661
PY049-08062019	12:38	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	24	93	5.04	121	50	0.826
PY050-11062019	17:33	3.5	7.0	2.0	2.0	1.8	22	218	12.88	283	30	6.456
PY051-12062019	18:04	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	30	186	8.06	242	100	1.296
PY052-14062019	16:06	3.5	5.0	1.5	1.5	1.8	7	37	6.87	48	100	1.102
PY053-15062019	12:36	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	28	177	8.22	230	150	0.851
PY055-19062019	17:00	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	36	228	8.23	296	100	1.806
PY056-21062019	12:08	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	37	157	5.52	204	100	0.926
PY058-28062019	15:19	3.5	4.8	1.5	1.5	1.8	27	129	6.21	168	100	0.827
PY063-12072019	08:42	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	41	151	4.79	196	100	0.383
PY064-14072019	12:21	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	81	373	5.99	485	100	1.661
PY065-16072019	18:08	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	76	346	5.92	450	100	1.796
PY066-18072019	12:14	3.5	4.0	1.5	1.5	1.8	24	98	5.31	127	80	1.111
PY068-20072019	15:40	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	54	179	4.31	233	100	0.745
PY069-22072019	06:30	3.5	6.0	1.5	1.5	1.8	36	176	6.36	229	280	0.095
PY070-25072019	09:19	3.5	6.0	1.5	1.5	1.8	56	396	9.19	515	100	1.071
PY072-27072019	12:08	3.5	6.0	1.0	2.0	1.8	59	387	8.53	503	100	0.871
PY073-31072019	12:14	3.5	6.0	2.0	2.0	1.8	27	207	9.97	269	140	0.085

Anexo VI Diseño de Anteproyecto PYO-ZM-12-100319



**MALLA 2 X 2**

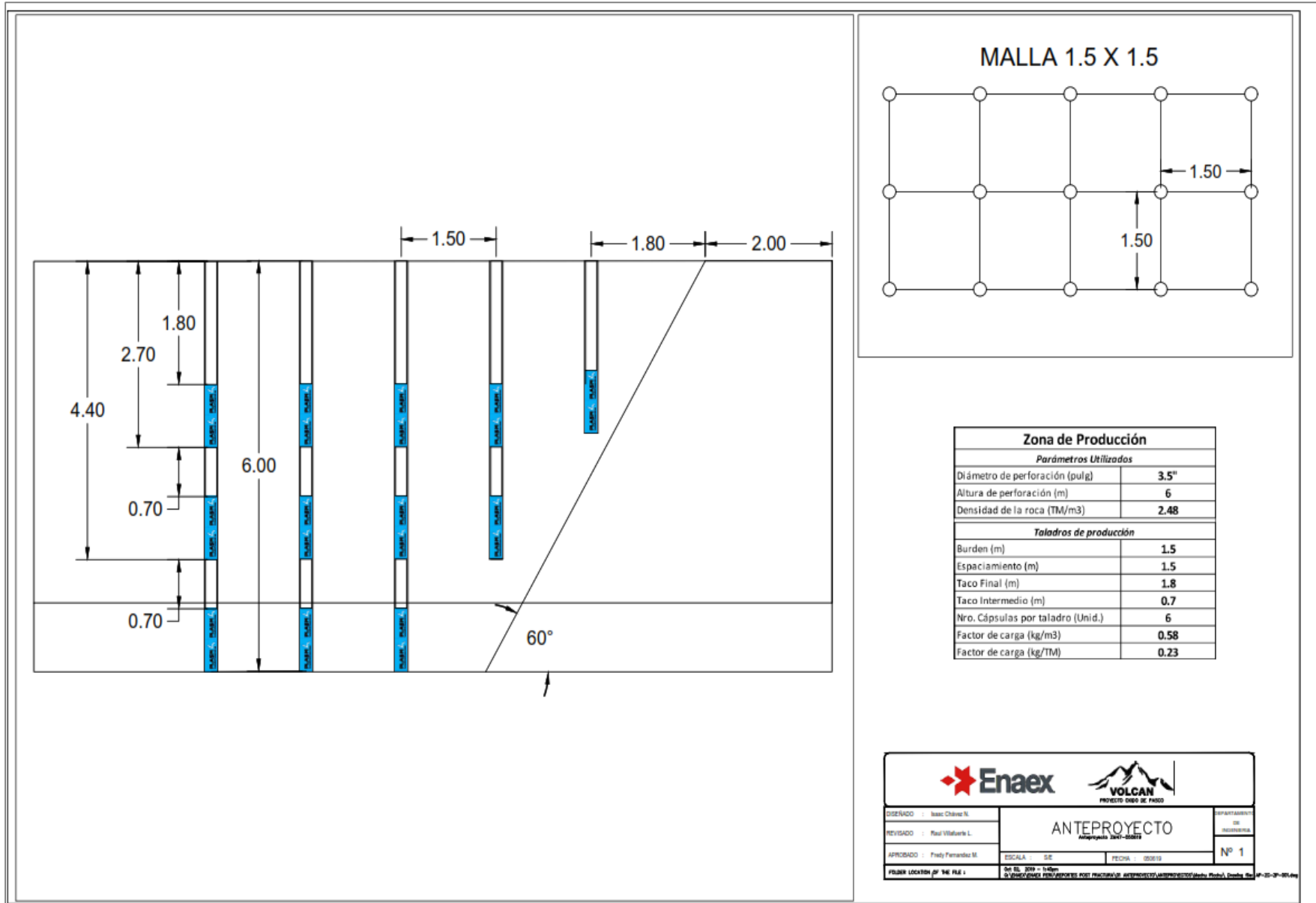


Zona de Producción	
<i>Parámetros Utilizados</i>	
Díámetro de perforación (pulg)	3 - 3.5"
Altura de perforación (m)	6
Densidad de la roca (TM/m <sup>3</sup> )	2.48
<i>Taladros de producción</i>	
Burden (m)	2
Espaciamento (m)	2
Taco Final (m)	2
Taco Intermedio (m)	0.8
Nro. Cápsulas por taladro (Unid.)	7
Factor de carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.38
Factor de carga (kg/TM)	0.15
<i>Taladros de ayuda</i>	
Burden (m)	1
Espaciamento (m)	2
Taco Final (m)	2
Taco Intermedio (m)	0.8
Nro. Cápsulas por taladro (Unid.)	6
Factor de carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.65
Factor de carga (kg/TM)	0.26

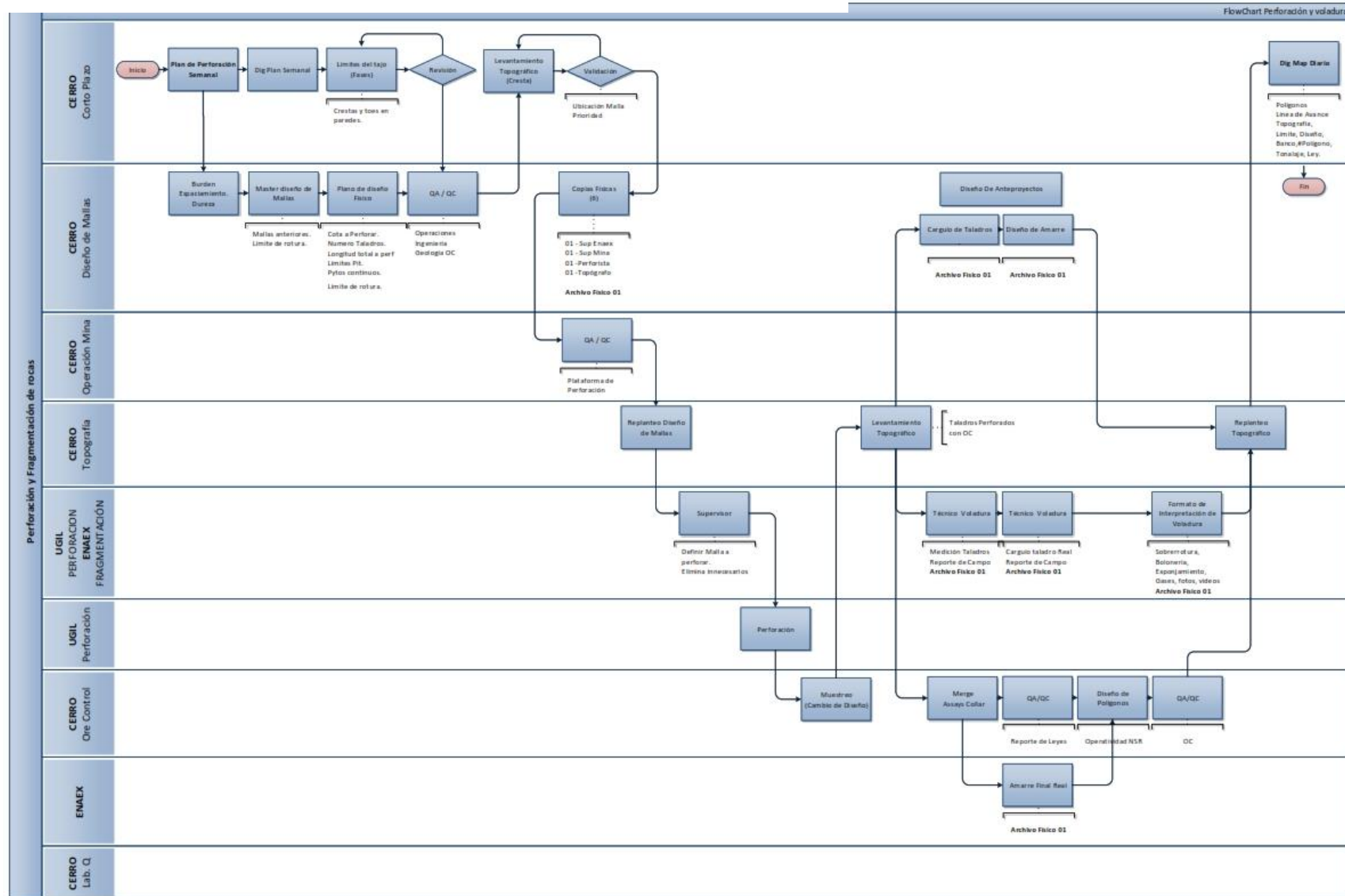
DISEÑADO : Isaac Chávez N.	<b>ANTEPROYECTO</b>	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
REVISADO : Paul Villalobos L.	ZONA SAN ABAYO-00-0041	Nº 1
APROBADO : Fredy Fernandez M.	ESCALA : 1:1000	FECHA : 05/02/19

PLAN: LOCALIZACIÓN DE LAS P.A.S. |
 ON 05. 2019 - 10:00am |
 D:\USUARIO\PAUL VILLALOBOS\PROYECTOS\ZONA SAN ABAYO\ANTEPROYECTO\ANTEPROYECTO (Zona San Abayó) - Diseño (Rev. 01) - 01-01-19.rvt

Anexo VII Diseño de Anteproyecto PYO-ZM-47-050619



# Anexo VIII Diagrama de Flujo Operación de Perforación y Voladura



Anexo IX Matriz de consistencia

Matiz de consistencia					
"Análisis de vibraciones inducidos por el uso de plasma en la fragmentación de rocas en el Proyecto Óxidos Insitu Compañía Minera Volcan – E.A. Óxidos de Pasco S.A.C					
Problema	Objetivos	Hipotesis	Variables	Indicadores	Metodología
General	General	General			
¿Cómo influye las vibraciones inducidos por el uso de plasma en la fragmentación de rocas en el Proyecto Óxidos Insitu de Compañía Minera Volcan?	Analizar las vibraciones inducidos por el uso de plasma en la fragmentación de rocas para minimizar los daños a las estructuras de las viviendas cercanas al Proyecto Oxidos Insitu en Volcan Compañía Minera.	El análisis de vibraciones inducidas por el uso de plasma predice y minimiza el daño a las estructuras de las viviendas cercanas, lo que permitirá tomar mejores decisiones y controlar la operación de fragmentación de rocas en el Proyecto Oxidos Insitu en Volcan Compañía Minera.	Variable independiente X= Registro y análisis de vibraciones inducidos por plasma en la fragmentacion de rocas  Variable dependiente Y= Daño en las viviendas circundantes en el Proyecto Oxidos Insitu de Volcan Compañía Minera.	A. Minimizar efectos de vibraciones en las estructuras de viviendas circundantes al Proyecto Oxidos Insitu de volcan Compañía Minera.  B. Umbral máximo de daño por cantidad de plasma	Tipo de investigación El tipo de investigación es aplicada, tiene una orientación tecnológica.  Método de investigación El método que se empleará es analítico e experimental.  Diseño de la investigación M: Muestra Ox: Variable independiente. Oy: Variable dependiente. Nivel de investigación
Específico	Específico	Específico			
A. ¿Cómo un modelo predictivo de vibraciones puede evitar los daños a las estructuras de las viviendas en el Proyecto Oxidos Insitu en Volcan Compañía Minera? B. ¿Cómo influye un diseño de perforación y fragmentación para minimizar los efectos de las vibraciones?	A. Elaborar un modelo predictivo de vibraciones en base al análisis para evitar daños a las estructuras de las viviendas cercanas al proyecto. B. Establecer un diseño de perforación y fragmentación mediante de acuerdo al modelo predictivo.	A. El modelo predictivo elaborado permite definir parámetros de diseño de perforación y fractura que se ajusten a la necesidad, minimizando los efectos por las vibraciones. B. El diseño de perforación y fragmentación determinado por los modelos predictivos y ley de atenuación permite reducir los daños por las vibraciones.			