



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“INCIDENCIA DE LA TECNOLOGÍA PLASMA EN LA VARIACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS VIBRACIONES PRODUCIDAS POR OPERACIONES DE VOLADURA EN MINERÍA SUPERFICIAL, CAJAMARCA, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Víctor Javier Arce Gutiérrez

Bach. Carlos Alberto Bringas Salazar

Asesor:

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

A mi adorada familia, quienes son mi sustento, ya que sin su valioso apoyo el camino hacia el cumplimiento de mis metas hubiese sido muy duro de transitar.

Javier Arce

A mi bella esposa y a mis adorados hijos, quienes me apoyaron en todo momento, a cumplir este difícil reto profesional.

Carlos Bringas

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios todopoderoso por ser mi guía siempre y un agradecimiento especial a quienes colaboraron con el fortalecimiento de mi formación profesional.

Javier Arce

Al hacedor de todo, ¡a Dios! por sus bendiciones a lo largo de toda mi vida y por fortalecerme siempre. Y gracias a quienes compartieron conmigo sus experiencias en el camino hacia mi formación profesional.

Carlos Bringas

## Tabla de contenidos

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....	17
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	20
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	45
REFERENCIAS .....	49
ANEXOS.....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Guía Ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras (MEM - Perú 1995)	13
Tabla 2. Recomendaciones del criterio de prevención (norma USBM RI8507)	13
Tabla 3. Relaciones empíricas para el Macizo Rocoso	14
Tabla 4. Monitoreo de Vibraciones con voladura convencional (uso de explosivos – mayo 2019)	25
Tabla 5. Resumen de Voladura con el uso de Explosivos Proyecto de Minería Superficial (mayo 2019)	25
Tabla 6. Resumen de Monitoreo de Vibraciones mes de mayo 2019	26
Tabla 7. Monitoreo de Vibraciones con voladura convencional (uso de explosivos – junio 2019)	27
Tabla 8. Resumen de Voladura con el uso de Explosivos Proyecto de Minería Superficial (junio 2019)	27
Tabla 9. Resumen de Monitoreo de Vibraciones mes de mayo 2019	28
Tabla 10. Fracturamiento de Rocas con Tecnología Plasma	31
Tabla 11. Registro de Vibraciones	31
Tabla 12. Detalle Vibraciones Proyecto 03-011218 - Voladura con Plasma	33
Tabla 13. Detalle Vibraciones Proyecto 04-031218 - Voladura con Plasma	35
Tabla 14. Detalle Vibraciones Proyecto 05-051218 - Voladura con Plasma	37
Tabla 15. Parámetros de voladura secundaria con Plasma	40
Tabla 16. Resumen Proyectos de Voladura con Explosivos	44
Tabla 17. Resumen Proyectos de Voladura con Tecnología Plasma	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Ondas Sísmicas.....	11
Figura 2. Criterio de prevención de daños, norma USBM RI8507.....	14
Figura 3. PPV Vs. Distancia, Cantidad de Explosivos.....	29
Figura 4. Cantidad de Explosivos Vs. Distancia, PPV.....	29
Figura 5. Poza de clasificación Proyecto Minero Superficial.....	30
Figura 6. Ampliación del PAD Proyecto Minero Superficial.....	30
Figura 7. Monitoreo de Vibraciones en Proyecto Minero Superficial – Ampliación de PAD.....	32
Figura 8. Monitoreo de Vibraciones en Poza de clasificación Proyecto Minero Superficial.....	32
Figura 9. Proyecto 03-011218 - Voladura con Plasma .....	33
Figura 10. Reporte de Vibraciones Proyecto 03-011218 - Voladura con Plasma.....	34
Figura 11. Proyecto 04-031218 - Voladura con Plasma .....	35
Figura 12. Reporte de Vibraciones Proyecto 04-031218 - Voladura con Plasma.....	36
Figura 13. Proyecto 05-051218 - Voladura con Plasma .....	37
Figura 14. Reporte de Vibraciones Proyecto 05-051218 - Voladura con Plasma.....	38
Figura 15. Voladura Secundaria con Plasma.....	39
Figura 16. Diseño de la Fractura Secundaria con tecnología Plasma.....	40
Figura 17. Etapas 1 y 2 de la tarea: Voladura Secundaria con Plasma.....	41
Figura 18. Etapas 3 y 4 de la tarea: Voladura Secundaria con Plasma.....	42
Figura 19. Resultados de la Voladura Secundaria: Antes .....	43
Figura 20. Resultados de la Voladura Secundaria: Después .....	43
Figura 21. Análisis Comparativo Voladura con Explosivos - Voladura con Tecnología Plasma. ....	45

## RESUMEN

Se plantea la evaluación de los efectos de las vibraciones por labores de voladura convencional con el uso de explosivos frente a la propuesta del uso de tecnología plasma, observándose en las mediciones la variación en los efectos de las vibraciones generadas y transmitidas desde la fuente hacia diversas direcciones en el área de influencia de una operación minera superficial en la Región Cajamarca. Los objetivos específicos en esta investigación son, determinar los efectos de las vibraciones por operaciones de voladura con el uso tradicional de explosivos, además de realizar el análisis del efecto producido en las vibraciones con el uso de la tecnología plasma, finalmente realizar un análisis comparativo entre ambos procedimientos de voladura en operaciones mineras superficiales.

Concluyéndose que, el uso de la tecnología plasma en operaciones de voladura en minería superficial, incide en la disminución del efecto de las vibraciones en operaciones mineras superficiales en la Región Cajamarca, sustentado en los resultados de las mediciones, en los que se determinaron bajos niveles de vibraciones y altas frecuencias, donde a una distancia media de 130 metros obtuvimos una VPP de 0.683 mm/s y una Frecuencia de 9.3 Hz. Teniéndose una disminución de las vibraciones respecto a la voladura convencional de explosivos de hasta un 75%.

**Palabras clave:** Voladura tradicional, voladura con tecnología plasma, voladura controlada, efectos de las vibraciones.

## ABSTRACT

The evaluation of the effects of vibrations by conventional blasting work with the use of explosives against the proposal of the use of plasma technology is proposed, observing in the measurements the variation in the effects of the vibrations generated and transmitted from the source to various addresses in the area of influence of a surface mining operation in the Cajamarca Region. The specific objectives in this investigation are, to determine the effects of the vibrations by blasting operations with the traditional use of explosives, in addition to performing the analysis of the effect produced in the vibrations with the use of plasma technology, finally performing a comparative analysis between both blasting procedures in surface mining operations.

Concluding that, the use of plasma technology in blasting operations in surface mining, affects the decrease of the effect of vibrations in surface mining operations in the Cajamarca Region, based on the results of the measurements, in which low levels were determined of vibrations and high frequencies, where at an average distance of 130 meters we obtained a PPV of 0.683 mm / s and a frequency of 9.3 Hz. With a decrease in vibrations compared to conventional blasting of explosives of up to 75%.

Keywords: Traditional blasting, blasting with plasma technology, controlled blasting, vibration effects.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El efecto de las vibraciones en labores de voladura representa un importante problema a tomar en cuenta en las operaciones mineras; siendo considerable, no solo el hecho de la posible inestabilidad causada en el macizo rocoso tanto alrededor del área de detonaciones como en las propias instalaciones de un proyecto en operación, sino más aún si se encuentran cercanas a áreas pobladas; esta circunstancia podría propiciar el deterioro de las relaciones comunitarias, poniendo así en peligro la licencia social y la continuidad del proyecto. Razón por la cual se hace necesario el monitoreo, evaluación y control de tales efectos.

(Ruiz, Otárola, & Rodríguez, 2007) refieren que los explosivos que se usan en las operaciones mineras de voladura generan ondas que son transmitidas desde la fuente hacia diversas direcciones en la corteza terrestre, tales vibraciones pueden registrarse tanto en componentes verticales como en horizontales y pueden afectar a edificaciones cercanas a la zona.

(Quiroz, 2014) indica que la onda de choque que se genera como producto de la detonación de las cargas explosivas es propagada en forma esférica y transfiere una energía vibracional hacia el macizo rocoso. Tales ondas sísmicas transfieren hacia la roca, en múltiples direcciones, un movimiento de partículas que varía en intensidad dependiendo de factores como la energía del explosivo, la geometría de la voladura y

la secuencia de la detonación. Por lo que, para minimizar tales efectos es necesario emplear alguna técnica de voladura controlada. En la minería actual, el control de las vibraciones se convierte en un factor importante para garantizar el mejor resultado de la voladura.

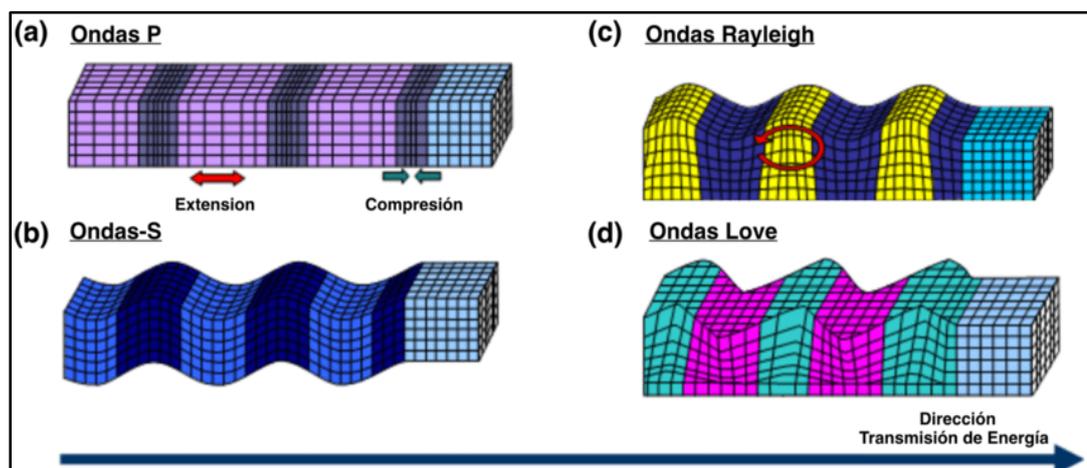
(Giraldo, 2010) refiere que el proceso de la voladura en una operación minera, es una actividad que genera vibraciones en el entorno donde se trabaja ocasionando generalmente algún tipo de molestia o daño. Los efectos perjudiciales de las vibraciones, depende de diversas características, como: la amplitud, duración, frecuencia, cantidad de ocurrencias, entre otras.

(Anicama, 2010) indica que, para realizar la prevención y el control de las vibraciones ocasionadas por la voladura, un método muy usado es establecer la ley de propagación de la velocidad de partículas, (VPP), teniendo en cuenta el tipo del macizo rocoso, la carga explosiva y la distancia. Esto normalmente en la voladura convencional con explosivos, sin embargo, nuestro propósito sería analizar la reducción de la VPP, con un método alternativo sin el uso de explosivos.

(Puente, 2014) refiere que las vibraciones representan un fenómeno de transmisión de energía reflejada en la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio. En un taladro localizado dentro de un macizo rocoso, cargado de explosivo, la detonación genera de manera prácticamente instantánea, un volumen grande de gases a elevadas temperaturas y presiones. Al aplicarse tan altas presiones de forma brusca en las paredes del taladro, se origina un gran impacto o choque brusco provocando deformaciones axiales y tangenciales en direcciones diferentes, produciendo la

fragmentación del macizo rocoso próximo. Parte de la energía es utilizada para la rotura y un porcentaje de la energía se libera hacia el ambiente, desplazándose a velocidades diferentes, propagándose por el macizo rocoso, la napa freática y por el aire. A medida que se aleja del punto de la detonación, la amplitud del movimiento ondulatorio disminuye.

Las vibraciones transmitidas como ondas sísmicas a través del macizo rocoso desplazadas de forma radial desde el punto de la detonación se pueden clasificar en: Ondas internas (ondas longitudinales o primarias, P y transversales o secundarias, S) y ondas superficiales (Ondas Love y ondas Rayleigh) (Puente, 2014).



**Figura 1.** Tipos de Ondas Sísmicas  
 Fuente: Recuperado de <https://cutt.ly/Iech2mM>

Los movimientos ondulatorios pueden ser complejos debido a la superposición de ondas en tiempo y espacio (según las condiciones geométricas y secuencias de iniciación), producidas por la variación en velocidad con las que estas viajan; además, de la amplia variedad en los tiempos de retardo que se utilizan en voladuras. En cada punto de paso de la onda sísmica por en un medio rocoso se produce un movimiento que se conoce como vibraciones, para su análisis es necesario el uso de sensores

dispuestos en tres direcciones ortogonales: vertical, transversal y radial. (Puente, 2014).

Respecto a los parámetros relacionados a las vibraciones según como lo indica (Ortiz, 2016), son las características fundamentales del movimiento, que permiten describir el carácter del movimiento experimentado por el suelo. Estos parámetros, principalmente son: el desplazamiento, la velocidad, la aceleración y la frecuencia. Siendo, el desplazamiento, la Distancia que una partícula se traslada desde su punto de reposo (se mide en milímetros - mm). La Velocidad, es la rapidez del movimiento de una partícula al dejar su punto de reposo (se mide en milímetros por segundo - mm/s). La Aceleración, es el rango de variación de la velocidad de la partícula. La Frecuencia, es total de vibraciones u oscilaciones que suceden en un segundo (Hertz - Hz).

Es necesario que las operaciones mineras de voladura se enfoquen en el cumplimiento de normas que regulen el adecuado desarrollo de esta actividad. En el Perú, la normatividad nacional vigente hace referencia a la (Guía ambiental para la perforación y voladura en operaciones mineras, 1995), la que establece los máximos límites de vibración según la distancia del área de la voladura Tabla 1.

Se tiene también, la referencia de la norma internacional “USBM IR8507”, Norma americana que mide la respuesta estructural y los daños producidos por efectos de las vibraciones por voladura en minería superficial (se evalúa niveles de vibración seguros para edificaciones, estableciendo límites en base a las velocidades de la partícula y al

nivel de la frecuencia). Y se dispone además de la teoría de criterio de daño al macizo rocoso de BAUER & CALDER Tabla 3.

Tabla 1.

*Guía Ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras (MEM - Perú 1995)*

Distancia desde el Área de Voladura		PPV Máximo permitida	
Metros	pies	mm/s	pulg/s
< 91	< 300	31.75	1.25
91 – 1521	301 - 5000	25.40	1.00
>1524	> 5001	19.05	0.75

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos de la Normas Técnicas Para Diseño Ambiental, dadas por la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas del Perú, en el mes de setiembre del año 1995.

Tabla 2.

*Recomendaciones del criterio de prevención (norma USBM RI8507)*

PPV máx. (mm/s)	Frecuencia (Hz)	Estructuras
12,7	2,7 - 7	Casas con paredes de escayola (yeso fino)
19	4 - 12	Casas con interiores de yeso prefabricado
50,8	> 40	Sin restricciones

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del Criterio de prevención norma USBM RI8507 (United States Bureau of Mines)

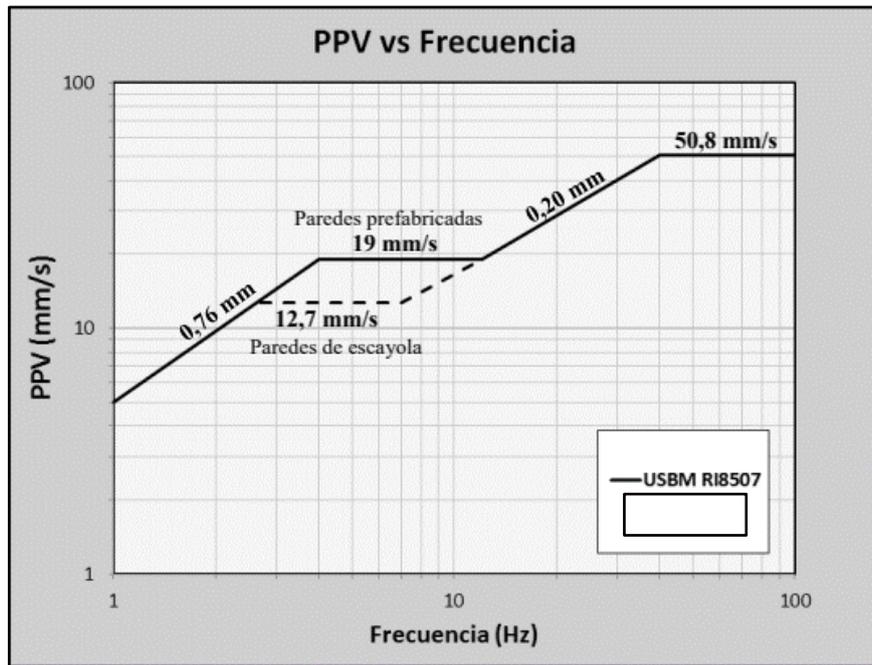


Figura 2. Criterio de prevención de daños, norma USBM RI8507  
Fuente: Norma americana USBM RI8507 tomado de (Vásquez , 2013)

Tabla 3.  
*Relaciones empíricas para el Macizo Rocoso*

Velocidad Pico Partícula mm/s	Partícula pulg/s	Efectos en la Masa Rocosa
< 254	< 10	No hay fractura de las rocas intactas
254 - 381	10 - 15	Puede ocurrir rebanado, tensional menor, caída de rocas
635 - 2540	25 - 100	Rajaduras tensionales fuertes, cierta rajadura radial, fracturas
> 2540	> 100	Rotura completa de la masa de rocas

Fuente: Elaboración propia en base a la teoría de criterio de daño al macizo rocoso de BAUER & CALDER.

En la actualidad, como alternativa a las operaciones tradicionales, existen diversos métodos de voladura sin el uso de explosivos, asumiendo que, como parte de la responsabilidad social que deben cumplir las empresas en este rubro, está el uso en sus operaciones de técnicas de voladura controlada. Una nueva tecnología en el fraccionamiento de rocas, es la tecnología del plasma, esta incluye la aplicación de un

alto voltaje en un producto no explosivo compuesto de sales metálicas confinadas de forma encartuchada o a granel en la roca.

Según Valenzuela (2010). Indica que, con el uso de la Tecnología Plasma en voladura de rocas, se obtiene como resultado, desplazamientos controlados de roca, bajos niveles de vibraciones, bajos niveles de ruidos, por lo cual es muy apropiada esta técnica para zonas habitadas.

Es así que, en esta investigación se estudia los efectos producidos por las vibraciones como causa de la voladura en operaciones mineras superficiales y se plantea disminuirlos mediante el uso de la Tecnología Plasma.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo incide el uso de la tecnología plasma en la variación de los efectos de las vibraciones producidas por operaciones de voladura en Minería Superficial?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la incidencia de la Tecnología Plasma en la variación de los efectos de las vibraciones producidas por operaciones de voladura en minería superficial.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar los efectos de las vibraciones por operaciones de voladura con el uso tradicional de explosivos en minería superficial.
- b. Analizar a la tecnología plasma y su efecto en las vibraciones producidas por las operaciones de voladura en minería superficial.

- c. Determinar la variación de los efectos de la vibración en operaciones de voladura, mediante el análisis comparativo de resultados entre el método tradicional con el uso de explosivos y mediante la tecnología plasma.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El uso de la tecnología plasma incide significativamente en la variación de los efectos de las vibraciones producidas por operaciones de voladura en minería superficial.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

H1: En operaciones de voladura con el uso tradicional de explosivos en minería superficial, existen efectos importantes como resultado por las vibraciones generadas.

H2: La tecnología plasma genera efectos favorables en la disminución de vibraciones producidas por operaciones de voladura en minería superficial.

H3: Frente al uso tradicional de explosivos, la tecnología plasma representa una ventaja comparativa en la reducción de efectos de las vibraciones producidas por operaciones de voladura en minería superficial.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

La investigación es de tipo cuantitativa, de nivel correlacional y de diseño no experimental. (Hernández Sampieri, 2014)

### **2.2. Material de Estudio**

#### **2.2.1. Población**

Está conformada por todas las Operaciones de Voladura en Minería Superficial

#### **2.2.2. Muestra**

Está conformada por proyectos de Voladura llevados a cabo en una operación minera superficial, ubicada entre los 3800 y 4000 msnm. y cuya producción principal es el Oro, en la Región Cajamarca.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

#### **2.3.1. Técnicas e instrumento de Recolección de Datos**

Se utiliza en esta investigación la Técnica de Observación Directa, y como instrumentos de recolección de datos, se tiene las tablas: (1) Efecto de las vibraciones por voladura convencional (uso de explosivos) y (2) Efecto de las vibraciones por voladura con plasma.

#### **2.3.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos**

El análisis de datos, se realizó mediante la clasificación en tablas de la información, con el apoyo del uso de equipos de cómputo y software de hojas cálculo (Excel), referente a las mediciones de equipos sismógrafos, de las

vibraciones producidas en voladura convencional (con el uso de explosivos) y con de voladura con el uso de la Tecnología Plasma.

## 2.4.Procedimiento

Se llevará a cabo el siguiente procedimiento en las instancias de Pre Campo, Campo y Gabinete:

### Pre Campo

Se tiene la recolección de información procedente de diversas fuentes como, documentos y artículos científicos, tesis y otros antecedentes referentes al objeto de investigación, que permitan darle validez a este estudio. En base a los siguientes procedimientos:

Recopilación de estudios previos relacionados a las operaciones de voladura en minería superficial.

Recopilación de informes previos desarrollados en operaciones de voladura con tecnología plasma.

Mapeos necesarios previos a el diseño de la voladura

Diseño de Taladros de Voladura

### Campo

Perforación de taladros, en base al planteamiento y parámetros establecidos.

Conexión de electrodos, generadores de impulsos, alimentador de carga y descarga para la producción de alto voltaje.

Instalación de equipos sismógrafos para la medición de vibraciones.

Medición de efectos de las vibraciones tanto en operaciones de voladura tradicional de explosivos, así como con el uso de la tecnología plasma.

#### Gabinete

Análisis de vibraciones tomadas con el uso de un equipo sismógrafo en las operaciones de voladura superficial.

Pruebas experimentales que permitan realizar el análisis comparativo entre la voladura tradicional con explosivos y la voladura con la tecnología plasma en operaciones mineras a cielo abierto.

Clasificación y ordenamiento de datos obtenidos.

#### Análisis de Resultados

Con los datos recopilados y procesados mediante el uso de los instrumentos de recolección y herramientas de procesamiento, se lleva a cabo el análisis e interpretación de resultados correspondientes, de tal forma que nos permita determinar si existe una disminución en los efectos de las vibraciones producidas, además de evaluar la influencia en otros aspectos técnico - económicos producidos por las operaciones de voladura en minería superficial.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Aspectos Generales

#### 3.1.1. El Área de Estudio

Esta investigación se centra en operaciones mineras Open Pit en la Región Cajamarca, las mediciones se realizaron en una operación minera que se encuentra a una altitud que varía entre los 3800 y 4000 msnm. y cuya producción principal es el Oro. Por tratarse de información de carácter confidencial, no se referencia el nombre de la misma.

### 3.2. Geología

#### 3.2.1. Geología Local

En el área de influencia del proyecto, se presentan afloramientos principalmente constituidos por rocas piroclásticas que conforman cuerpos sub volcánicos porfiríticos con composición andesítica moderada a alteradas fuertemente, pertenecientes al Grupo Calipuy y Volcánicos Huambo del Terciario. Además, se tiene la ocurrencia característica de brechas hidrotermales emplazadas como diatremas o cuellos volcánicos, en una secuencia volcano magmática predominantemente, vinculada a la manifestación hidrotermal.

Existen dos cuerpos de brecha principales: hacia el Oeste se encuentra ubicado el mayor, con dimensiones de 220 x 180 m, y el otro algo más pequeño está ubicado al lado Este, con dimensiones de 150 x 100 m. Estas brechas principalmente tienen fragmentos de tobas silicificadas sub-angulosas a subredondeadas, seleccionadas

ligeramente, cementadas por una matriz de cuarzo - alunitapirofilita y con diseminación de Óxido de hierro en cavidades y fracturas.

### **3.2.2. Geología Regional**

La estratigrafía regional se encuentra conformada por rocas sedimentarias silicoclásticas tales como cuarcitas, areniscas y lutitas pertenecientes al Grupo Goyllarisquizga del Cretáceo inferior, seguido de lutitas, calizas y margas correspondientes a las formaciones Pariatambo, Chulec, Inca del Cretácico inferior, Pulluicana del Cretáceo superior y Chota del Cretáceo medio a superior, básicamente conformada por areniscas y calizas. Posteriormente la actividad del arco volcánico cenozoico permitió que se depositen una secuencia volcánica potente que conforma el Grupo Calipuy localmente diferenciada en las formaciones Porculla y Llama; luego seguido en discordancia por la secuencia piroclástica de Volcánicos Huambos. Finalmente, la presencia de depósitos recientes constituidos de materiales coluviales y morrénicos.

La base de la estratigrafía regional en el área de estudio, se encuentra definida por la presencia de rocas sedimentarias silicoclásticas correspondientes al Grupo Goyllarisquizga del Cretáceo inferior y las formaciones Inca, Chulec y Pariatambo, con presencia de variaciones entre calizas, pizarras y horizontes silicoclásticos. Sobreyaciendo se encuentra el Grupo Pulluicana, correspondiente al Cretáceo Superior, conformado básicamente por areniscas y calizas.

### 3.2.3. Geología Estructural

Según lo referencia por (Cruzado, 2009), En la región de Cajamarca se tienen evidencias de diversas etapas de deformación, las que corresponden a los movimientos del Ciclo Andino. Estas fases de deformación se evidencian por discordancias, pliegues, fallas y otras estructuras, que se materializan en zonas de deformación. A principios del Jurásico Superior, aproximadamente, se inició la formación de la cuenca occidental peruana y el Alto del Marañón, probablemente por la influencia de las fuerzas de distensión, desarrollándose dos grandes elementos: un horst y un graben, relacionados directamente a movimientos del zócalo que inició la subsidencia (occidente) y el levantamiento (oriente).

Los principales rasgos estructurales en el área de estudio, se encuentran constituidos por la presencia de estructuras con rumbo andino NW-SE, como parte del borde oriental del corredor estructural San Pablo–Porculla, conformado por un sistema de profundas fallas de morfología compleja, que controlaron el emplazamiento de cuerpos sub volcánicos pequeños y un intenso flujo hidrotermal relacionado al magmatismo Calipuy, en cuyo eje se formaron los edificios volcánicos principales; del mismo modo, se encuentran estructuras menores de orientación NE SW, relacionados a las fallas que delimitan bloques estructurales dentro del corredor estructural citado.

### 3.2.4. Geología Económica

Según lo referenciado por (Cruzado, 2009), el mapa metalogenético de la Región Cajamarca se encuentra conformado por franjas metalogenéticas que representan épocas de mineralización las que se extienden a través del sistemas de fallas regionales y litologías que han beneficiado la mineralización de depósitos minerales en la Región.

En el área en estudio, se tiene:

Alteración

Yacimientos epitermales de alta sulfuración; los fluidos hidrotermales alcanzan la superficie mediante fracturas y a través de rocas permeables (en ocasiones), estos fluidos alteran y mineralizan las rocas circundantes.

En la parte central del yacimiento presenta una grande silicificación manifestada en forma brechas, estructuras, cuerpos sub verticales en su mayoría, además de venillas de sílice de fases primarias y retrógradas.

Respecto a la alteración argílica avanzada, esta es polifásica, con una primera fase remplazando feldespatos, una segunda fase de recristalización con textura moteada, una fase intra mineral como matriz de brechas y al final una fase tardía que ocurre como venillas cristalizadas que rellenan cavidades. Presenta el ensamble característico de cuarzo - alunita - pirofilita, que incrementa la ocurrencia de pirofilita en niveles profundos. La alteración argílica ocurre como gradación lateral de la alteración cuarzo - alunita.

### Mineralización

El oro es la mineralización principal; además, relleno de fracturas y presentado como matriz de brechas, la presencia de electrum en partículas sub microscópicas asociadas a óxidos de Fe (como limonitas, goetitas y jarositas). El escape de óxidos presenta un zonamiento vertical de aproximadamente 100 a 120 m. En los primeros metros de la zona de óxidos se encuentran contenidos los mejores valores de oro, demostrando un evidente enriquecimiento supergénico.

En la zona de los sulfuros primarios ocurren como diseminaciones en vetillas o relleno de cavidades (en orden de abundancia): pirita, enargita, covelita, tenantita y tetraedrita, sulfosales de plata y metales base.

### **3.3. Mediciones de Vibraciones generadas por efectos de la voladura convencional**

Estas mediciones nos muestran los resultados de la sismicidad como producto de las voladuras con el uso de explosivos efectuadas en los meses de mayo y junio del año 2019.

En el mes de mayo, se consideran 6 puntos de monitores establecidos. No se tienen viviendas a un radio menor de 1 Km por lo que no se considera monitorear puntos en esas distancias, ya que el monitoreo a campo lejano se emplea para distancias máximas de 600 m. Se tienen los siguientes resultados:

Tabla 4.

*Monitoreo de Vibraciones con voladura convencional (uso de explosivos – mayo 2019)*

FECHA	PROYECTO	PPV (mm/s)			PPV SUMA (mm/s)	FRECUENCIA (Hz)			FRECUENCIA DOMINANTE	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	EQUIPO MEDICIÓN
		TRANS.	VERT.	LONG.		TRANS.	VERT.	LONG.			
03/05/2019	PY_030519	12.30	18.30	17.80	21.90	8.60	12.90	10.20	12.90	150	Sismógrafo
08/05/2019	PY_080519	4.32	2.54	2.03	4.83	8.80	9.40	11.10	8.80	250	Sismógrafo
09/05/2019	PY_090519	1.52	1.52	1.90	2.42	12.30	8.50	7.50	7.50	450	Sismógrafo
12/05/2019	PY_120519	3.94	3.56	4.83	5.77	9.90	7.70	7.20	7.20	500	Sismógrafo
23/05/2019	PY_230519	2.29	1.27	1.65	6.10	9.90	11.80	11.00	9.90	600	Sismógrafo
24/05/2019	PY_240519	2.67	4.57	2.79	5.19	18.50	17.20	12.50	17.20	500	Sismógrafo

Fuente: Elaboración propia, tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

Tabla 5.

*Resumen de Voladura con el uso de Explosivos Proyecto de Minería Superficial (mayo 2019)*

FECHA	PROYECTO	NUMERO TALADROS	TOTAL EXPLOSIVO (Kg)	TONELAJE MATERIAL (Ton.)	FACTOR POTENCIA (Kg/Ton)	TIPO DE DETONADOR
03/05/2019	PY_030519	199	35,096	115,106	0.30	Electrónico
08/05/2019	PY_080519	154	26,351	106,698	0.25	Electrónico
09/05/2019	PY_090519	146	26,349	102,000	0.26	Electrónico
12/05/2019	PY_120519	183	30,006	113,686	0.26	Electrónico
23/05/2019	PY_230519	105	18,537	65,963	0.28	Electrónico
24/05/2019	PY_240519	169	29,149	137,894	0.21	Electrónico

Fuente: Elaboración propia, tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

Tabla 6.  
Resumen de Monitoreo de Vibraciones mes de mayo 2019

PPV Máximo	PPV Mínimo	Distancia Máxima	Distancia Mínima
21.90 mm/seg	2.42 mm/seg	600 m	150 m

Fuente: Elaboración propia, tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

En la Tabla 4, correspondiente al Monitoreo de Vibraciones con voladura convencional (uso de explosivos), se referencia proyectos de voladura llevados a cabo en el mes de mayo del año 2019, en una operación minera superficial de la región Cajamarca, en la que podemos observar las mediciones realizadas con un equipo sismógrafo (a una determinada distancia en metros del área de voladura), respecto a la velocidad pico de partícula (PPV en mm/s), y las frecuencias (en Hz) de cada proyecto. En la Tabla 5, Se indica la cantidad de taladros, el total de explosivos utilizados (en Kg.), la cantidad de material volado (en Ton), el factor potencia (en Kg/Ton), correspondiente a cada proyecto de voladura llevado a cabo en la misma operación minera antes indicada (por cuestiones de confidencialidad de datos no se referencia el nombre de esta operación minera). Finalmente, en la Tabla 6, tenemos los valores máximos y mínimos de la velocidad pico de partícula (PPV en mm/s) medidas en los proyectos de voladura indicados.

Tabla 7.  
*Monitoreo de Vibraciones con voladura convencional (uso de explosivos – junio 2019)*

FECHA	PROYECTO	PPV (mm/s)			PPV SUMA (mm/s)	FRECUENCIA (Hz)			FRECUENCIA DOMINANTE	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	EQUIPO MEDICIÓN
		TRANS.	VERT.	LONG.		TRANS.	VERT.	LONG.			
18/06/2019	PY_180619	6.35	4.95	5.84	7.14	8.40	10.30	7.90	8.40	250	Sismógrafo
24/06/2019	PY_180619	2.67	1.52	2.16	2.81	8.90	6.00	7.90	8.90	500	Sismógrafo
30/06/2019	PY_180619	51.10	53.80	47.90	70.70	10.00	14.30	13.30	14.30	20	Sismógrafo

Fuente: Elaboración propia, tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

Tabla 8.  
*Resumen de Voladura con el uso de Explosivos Proyecto de Minería Superficial (junio 2019)*

FECHA	PROYECTO	NUMERO TALADROS	TOTAL EXPLOSIVO (Kg)	TONELAJE MATERIAL (Ton.)	FACTOR POTENCIA (Kg/Ton)	TIPO DE DETONADOR
18/06/2019	PY01_180619	156	30800	115000	0.27	Electrónico
24/06/2019	PY01_240619	170	30870	112707	0.27	Electrónico
30/06/2019	PY01_300619	125	19700	102996	0.19	Electrónico

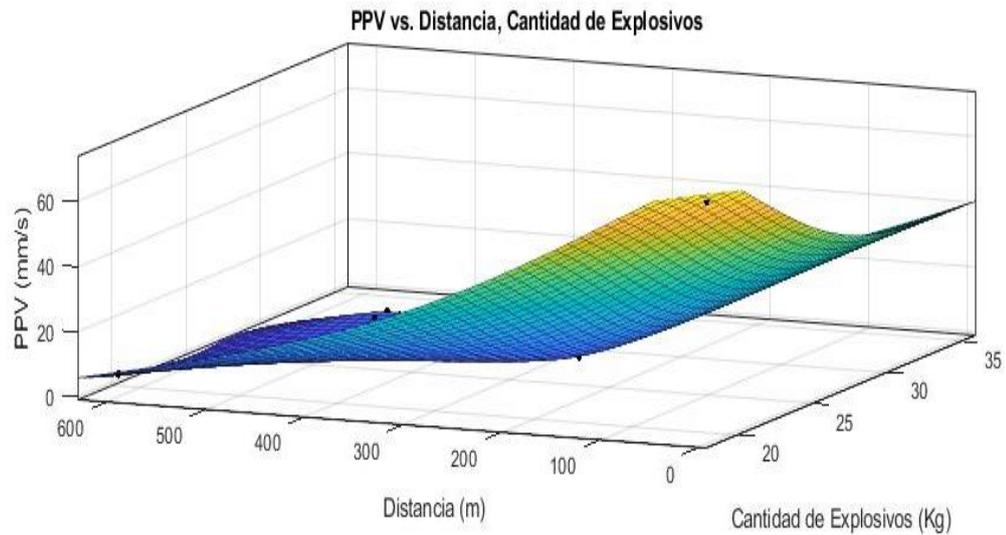
Fuente: Elaboración propia, tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

Tabla 9.  
*Resumen de Monitoreo de Vibraciones mes de mayo 2019*

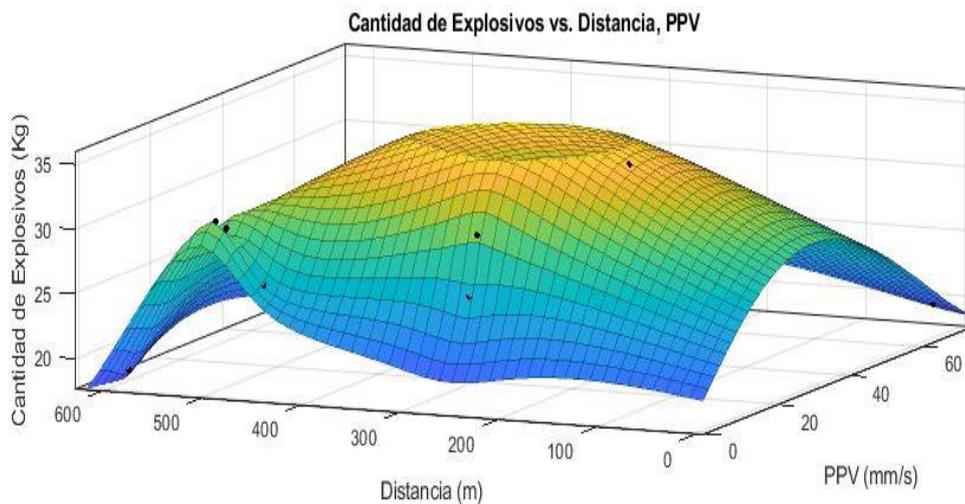
PPV Máximo	PPV Mínimo	Distancia Máxima	Distancia Mínima
70.70 mm/seg	2.81 mm/seg	500 m	20 m

Fuente: Elaboración propia, tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

En la Tabla 7, correspondiente al Monitoreo de Vibraciones con voladura convencional (uso de explosivos), se referencia proyectos de voladura llevados a cabo en el mes de junio del año 2019, en una operación minera superficial de la región Cajamarca, en la que podemos observar las mediciones realizadas con un equipo sismógrafo (a una determinada distancia en metros del área de voladura), respecto a la velocidad pico de partícula (PPV en mm/s), y las frecuencias (en Hz) de cada proyecto. En la Tabla 8, Se indica la cantidad de taladros, el total de explosivos utilizados (en Kg.), la cantidad de material volado (en Ton), el factor potencia (en Kg/Ton), correspondiente a cada proyecto de voladura llevado a cabo en la misma operación minera antes indicada (por cuestiones de confidencialidad de datos no se referencia el nombre de esta operación minera). Finalmente, en la Tabla 9, tenemos los valores máximos y mínimos de la velocidad pico de partícula (PPV en mm/s) medidas en los proyectos de voladura indicados.



*Figura 3.* PPV Vs. Distancia, Cantidad de Explosivos  
Fuente: Elaboración Propia



*Figura 4.* Cantidad de Explosivos Vs. Distancia, PPV  
Fuente: Elaboración propia

En el caso de una voladura convencional (uso de explosivos), los parámetros preponderantes en el incremento en la magnitud de la velocidad pico de partícula PPV (mm/s), son: la Distancia (m) desde el punto en el que se lleva a cabo voladura hasta el lugar de la medición y la Cantidad de explosivos utilizados (Kg). La PPV se incrementa a menores y distancias y ha mayor cantidad de explosivos.

### 3.4.Registro de Vibraciones por Fracturamiento de Rocas con Tecnología Plasma

Labores de Ampliación de PAD y Poza de Clasificación

Se realizó el fracturamiento de rocas desde la instalación de pozos, conexión entre pozos y la activación de las cápsulas de plasma, en el PAD operaciones y en un Tajo de una Operación Minera Superficial.



Figura 6. *Ampliación del PAD Proyecto Minero Superficial*

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)



Figura 5. *Poza de clasificación Proyecto Minero Superficial*

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

Tabla 10.

*Fracturamiento de Rocas con Tecnología Plasma*

FECHA	PROYECTO	SITIO	HORA	DIAM POZO (pulg.)	LONG POZO (m)	MALLA PERF. (B x S)		TACO FINAL Prom. (m)	TOT. POZOS	N° CAPS. UTILIZ.	FP (Kg/m <sup>3</sup> )
						Burden (m)	Espac. (m)				
30/11/2018	PY01-301118	Amp. PAD	11:00	4.0	6.5	2.3	2.6	1.9	8	43	0.18
01/12/2018	PY02-011218	Amp. PAD	7:45	4.0	4.5	1.7	2.0	2.1	4	16	0.34
01/12/2018	PY03-011218	Amp. PAD	15:10	4.0	4.0	2.0	2.3	2.4	8	32	0.28
03/12/2018	PY04-031218	Amp. PAD	17:15	4.0	6.5	1.7	2.0	2.8	7	56	0.47
03/12/2018	PY04-031218	Amp. PAD	17:15	4.0	2.8	1.7	2.0	2	25	53	0.29
05/12/2018	PY05-051218	Poza Clasif.	17:25	4.0	6.5	3.0	3.5	1.9	17	146	0.16
05/12/2018	PY05-051218	Poza Clasif.	17:25	4.0	2.8	3.0	3.5	1.7	6	12	0.09
06/12/2018	PY06-061218	Amp. PAD	17:10	4.0	4.0	2.2	2.5	2.4	25	109	0.26

Fuente: Elaboración propia. Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

Registro de Vibraciones

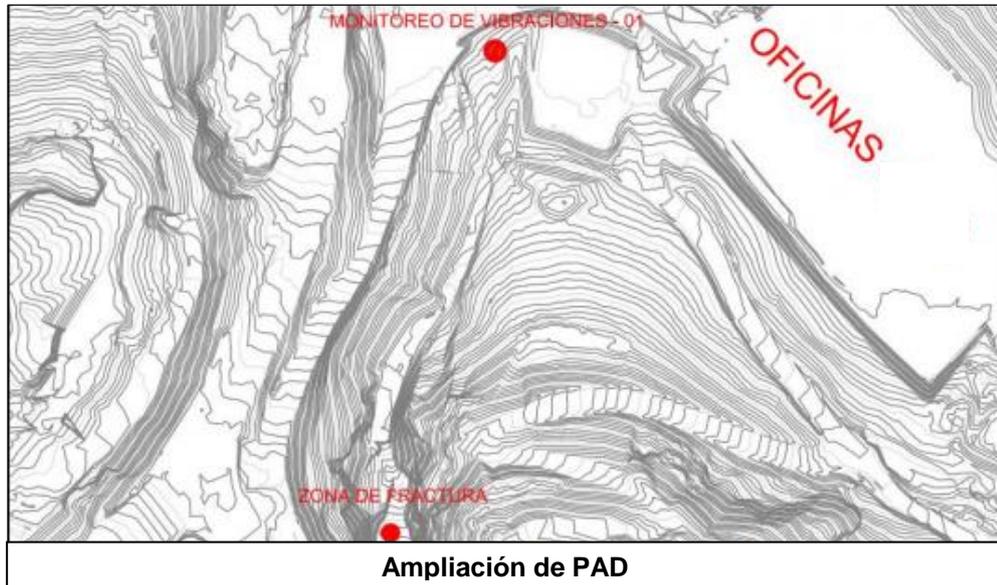
Con el uso de un equipo sismógrafo de marca “INSTANTEL – Minimate Plus” se realizaron las mediciones a nivel de vibraciones provocadas por las fracturas por efectos de la voladura con plasma. Obteniéndose los siguientes datos:

Tabla 11.

*Registro de Vibraciones*

FECHA	PROYECTO	SITIO	TOT. POZOS	N° CAPS UTILIZ	CARGA UTILIZ. (kg)	FP (Kg/m <sup>3</sup> )	DIST (m)	UBIC. GEOF.	PVS (mm/s)	PPV	
										Onda (mm/s)	Frec. (Hz)
30/11/2018	PY01-301118	Amp. PAD	8	43	56	0.18	-	-	-	-	-
01/12/2018	PY02-011218	Amp. PAD	4	16	21	0.34	-	-	-	-	-
01/12/2018	PY03-011218	Amp. PAD	8	32	42	0.28	130	Lado Norte	1.054	Vert - 0.87	10
03/12/2018	PY04-031218	Amp. PAD	7	56	73	0.47	150	Lado Norte	0.803	Long - 0.683	9.3
05/12/2018	PY05-051218	Poza Clasif.	17	146	190	0.16	80	Lado Sur	5.214	Tran - 4.524	12
06/12/2018	PY06-061218	Amp. PAD	6	12	16	0.09	-	-	-	-	-
06/12/2018	PY06-061218	Amp. PAD	25	109	142	0.26	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia. Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)



*Figura 7.* Monitoreo de Vibraciones en Proyecto Minero Superficial – Ampliación de PAD



*Figura 8.* Monitoreo de Vibraciones en Poza de clasificación Proyecto Minero Superficial

Proyecto 03-011218

Tabla 12.

*Detalle Vibraciones Proyecto 03-011218 - Voladura con Plasma*

Fecha	Proyecto	PPV (mm/s)			PVS (mm/s)	Sismógrafo	
		Trans.	Vert.	Long		Ubicación	Tipo
01/12/18	PY03-011218	0.810@10Hz	0.873@8.5Hz	0.651@11Hz	1.054	Lado norte	Superficial

Fuente: Elaboración propia. Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

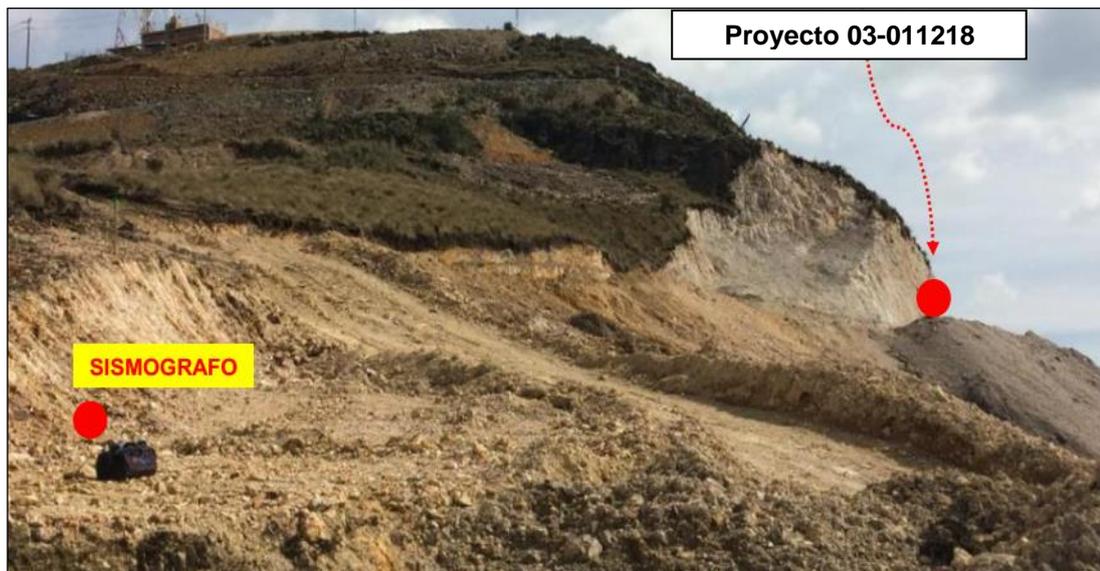


Figura 9. Proyecto 03-011218 - Voladura con Plasma

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

El registro de vibraciones fue de 1.054mm/s tomadas a una distancia de 130m, obtenido en el equipo Sismógrafo Superficial ubicado al lado Norte de la zona de la Fractura.



### Event Report

Date/Time Vert at 15:09:48 December 1, 2018  
 Trigger Source Geo: 0.500 mm/s  
 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 W466HP82.4C0

#### Notes

Location:  
 Client:  
 User Name:  
 General:

#### Extended Notes

Microphone Linear Weighting  
 PSPL <88 dB(L)  
 ZC Freq N/A  
 Channel Test Check (Freq = 0.0 Hz Amp = 0 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.810	0.873	0.651	mm/s
ZC Freq	10	8.5	11	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.158	0.116	0.067	sec
Peak Acceleration	0.008	0.012	0.010	g
Peak Displacement	0.010	0.013	0.010	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.9	7.4	7.6	Hz
Overswing Ratio	3.5	3.7	4.1	

Peak Vector Sum 1.054 mm/s at 0.116 sec  
 N/A: Not Applicable

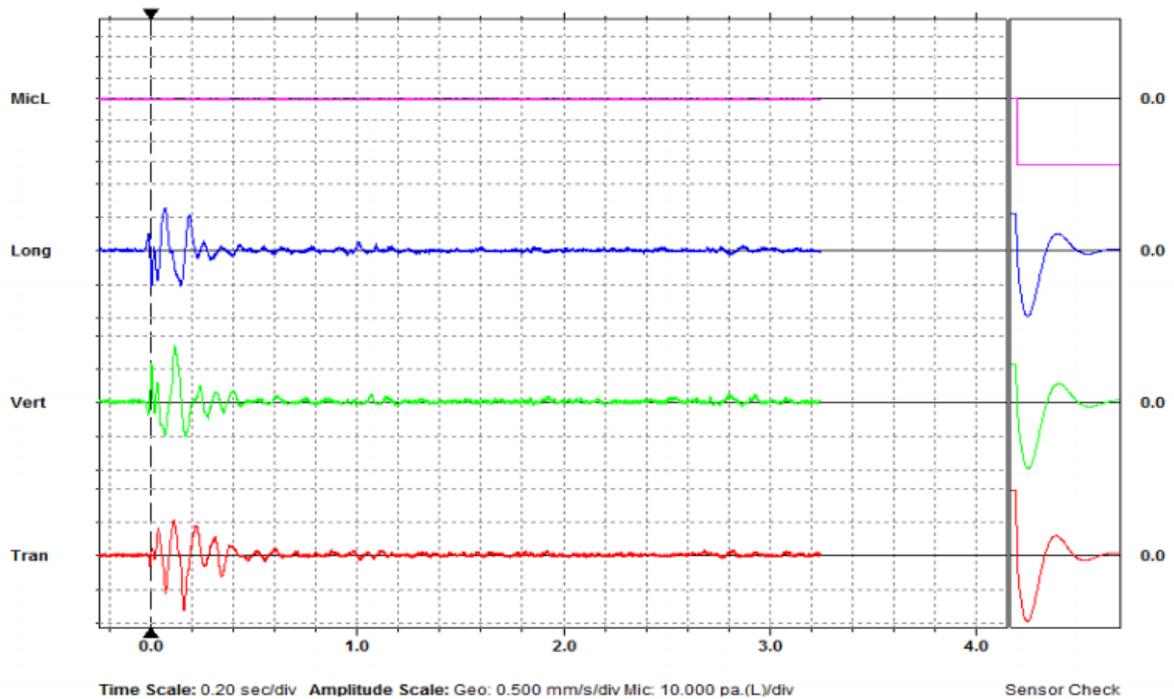
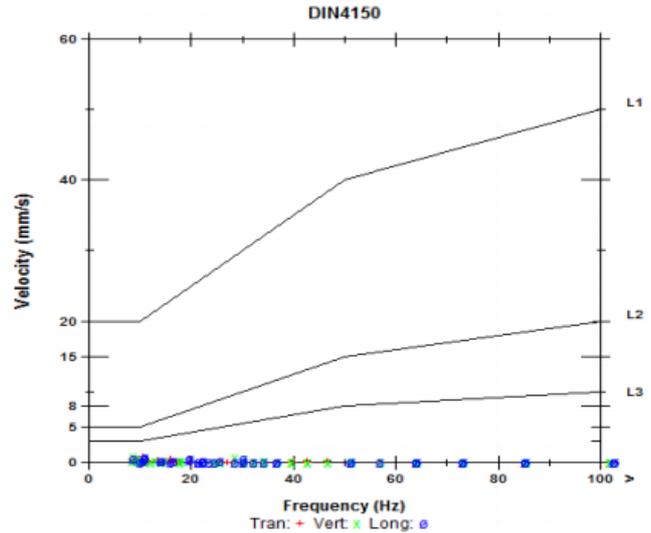


Figura 10. Reporte de Vibraciones Proyecto 03-011218 - Voladura con Plasma  
 Fuente: Medición de Equipo Sismógrafo – Proyecto de Voladura en Minería Superficial

Tabla 13.

*Detalle Vibraciones Proyecto 04-031218 - Voladura con Plasma*

Fecha	Proyecto	PPV (mm/s)			PVS (mm/s)	Sismógrafo	
		Trans.	Vert.	Long		Ubicación	Tipo
03/12/18	PY04-031218	0.635@ 9.3Hz	0.587@ 9.1Hz	0.683@ 9.3Hz	0.803	Lado norte	Superficial

Fuente: Elaboración propia. Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

El registro de vibraciones fue de 0.803mm/s tomadas a una distancia de 130m, obtenido en el equipo Sismógrafo Superficial ubicado al lado Norte de la zona de la Fractura.



*Figura 11.* Proyecto 04-031218 - Voladura con Plasma

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)



### Event Report

Date/Time Long at 17:13:59 December 3, 2018  
 Trigger Source Geo: 0.500 mm/s  
 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 W466HPBX.7B0

**Notes**

Location:  
 Client:  
 User Name:  
 General:

**Extended Notes**

Microphone Linear Weighting  
 PSPL <88 dB(L)  
 ZC Freq >100 Hz  
 Channel Test Check (Freq = 0.0 Hz Amp = 0 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.635	0.587	0.683	mm/s
ZC Freq	9.3	9.1	9.3	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.090	0.050	0.010	sec
Peak Acceleration	0.007	0.008	0.008	g
Peak Displacement	0.009	0.011	0.010	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.9	7.4	7.4	Hz
Overswing Ratio	3.4	3.7	4.1	

Peak Vector Sum 0.803 mm/s at 0.007 sec  
 N/A: Not Applicable

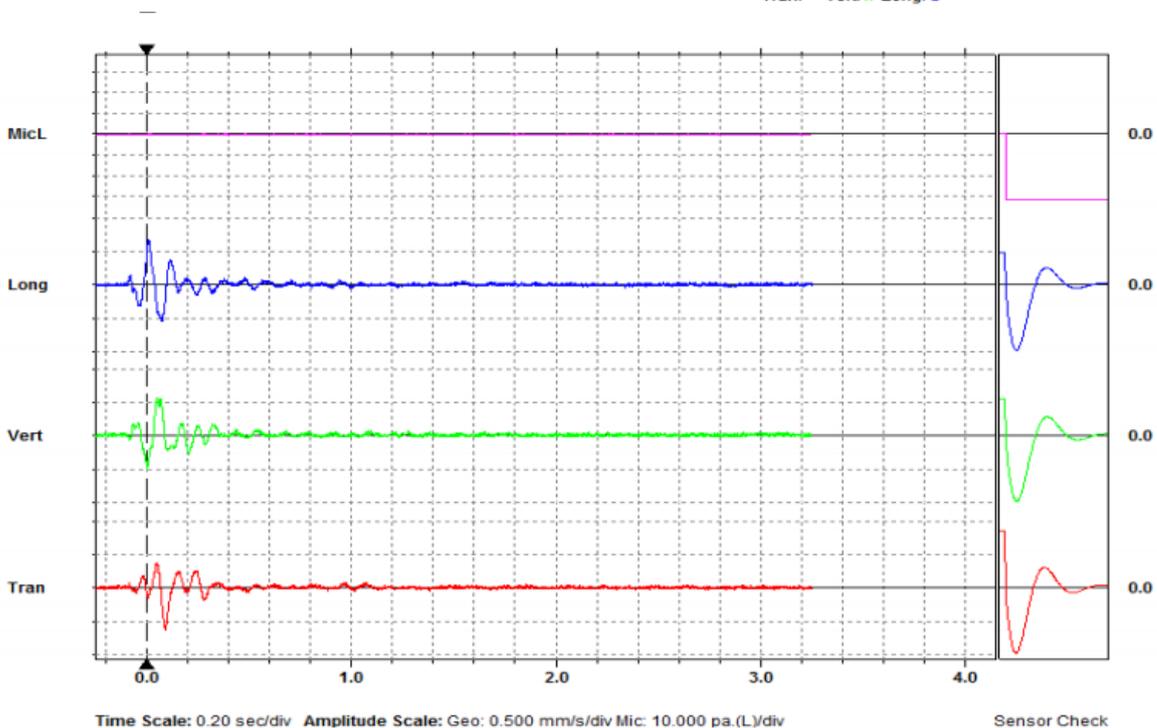
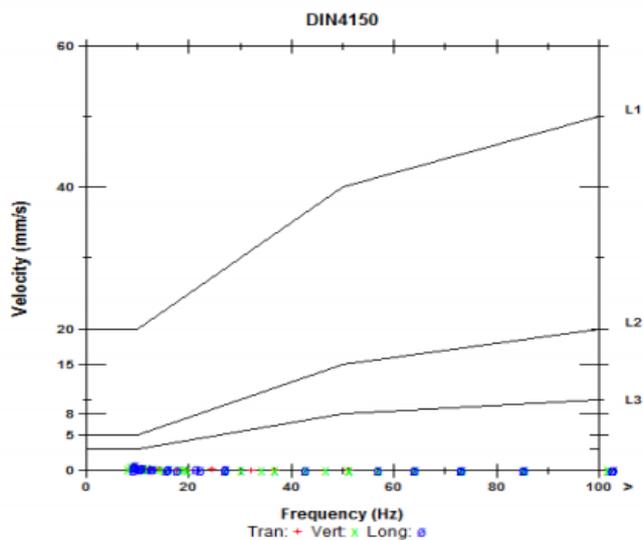


Figura 12. Reporte de Vibraciones Proyecto 04-031218 - Voladura con Plasma

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

Proyecto 05-051218

Tabla 14.

*Detalle Vibraciones Proyecto 05-051218 - Voladura con Plasma*

Fecha	Proyecto	PPV (mm/s)			PVS (mm/s)	Sismógrafo	
		Trans.	Vert.	Long		Ubicación	Tipo
05/12/18	PY05-051218	4.524@ 11Hz	2.778@ 9.5Hz	4.207@ 12Hz	5.214	Lado sur	Superficial

Fuente: Elaboración propia. Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

El registro de vibraciones fue de 5.214mm/s tomadas a una distancia de 80m, obtenido en el equipo Sismógrafo Superficial ubicado al lado Sur de la zona de la Fractura.



*Figura 13.* Proyecto 05-051218 - Voladura con Plasma

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

Date/Time Long at 17:24:11 December 5, 2018  
Trigger Source Geo: 0.500 mm/s  
Range Geo: 31.75 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 6.3 Volts  
Unit Calibration August 10, 2018 by Geoinstruments  
File Name W466HPFN.0B0

Notes

Location:  
Client:  
User Name:  
General:

Extended Notes

Microphone Linear Weighting  
PSPL 95.92 dB(L) at 0.083 sec  
ZC Freq 18 Hz  
Channel Test Check (Freq = 0.0 Hz Amp = 0 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	4.524	2.778	4.207	mm/s
ZC Freq	12	9.5	12	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.122	0.130	0.083	sec
Peak Acceleration	0.043	0.022	0.033	g
Peak Displacement	0.059	0.044	0.049	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.8	7.4	7.4	Hz
Overswing Ratio	3.4	3.7	4.2	

Peak Vector Sum 5.214 mm/s at 0.080 sec

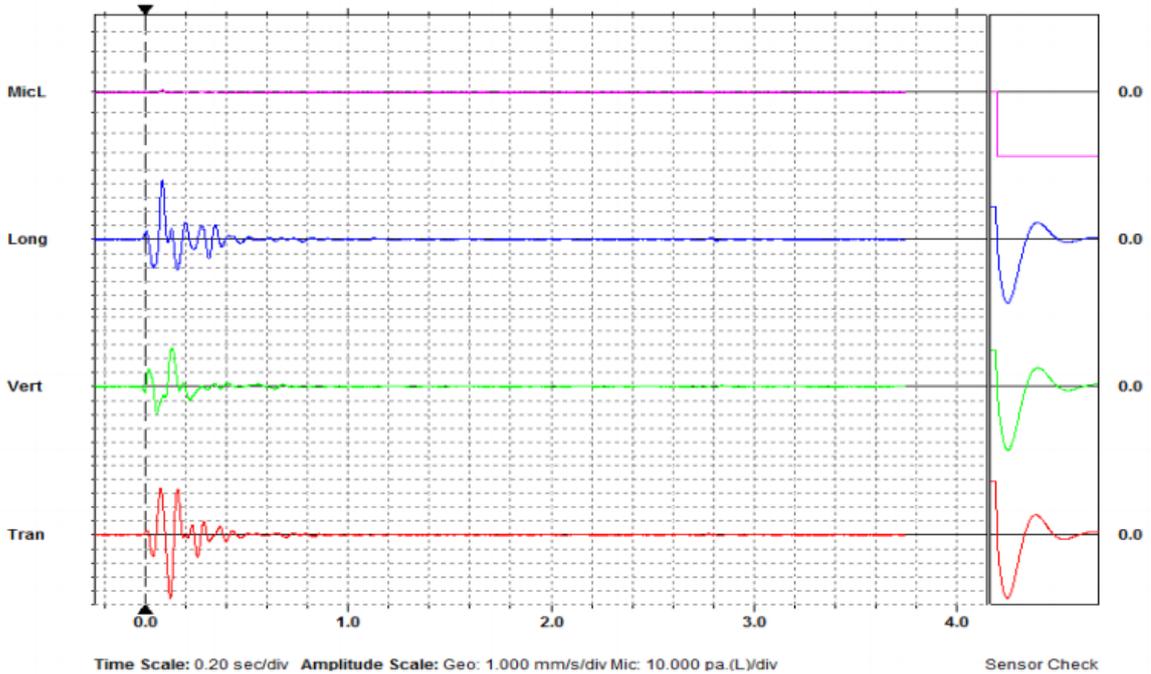
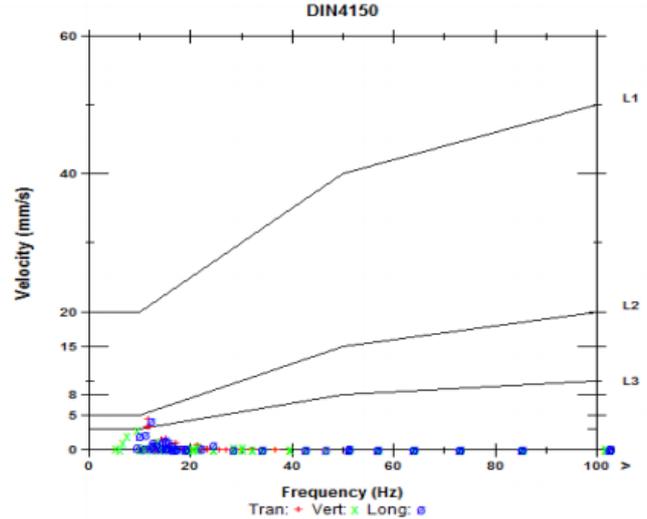
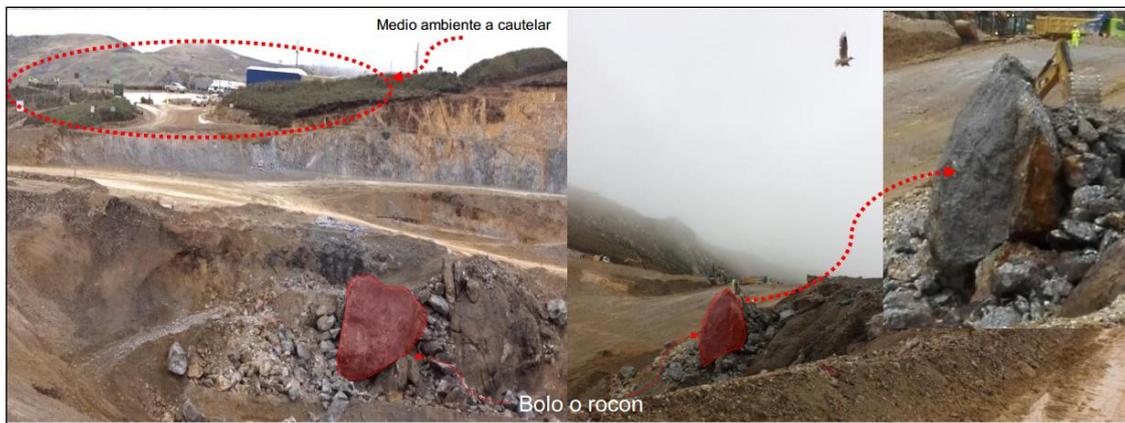


Figura 14. Reporte de Vibraciones Proyecto 05-051218 - Voladura con Plasma

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

### 3.5. Fractura Secundaria con Tecnología Plasma

En el caso de una voladura secundaria, se usa la tecnología Plasma, tal como lo requería el proyecto de Ampliación del PAD, de la misma operación minera superficial en la cual se desarrolla esta investigación, fue necesario fracturar una roca (“bolón o rocón”) de grandes dimensiones. Las características de la roca es un Cuarzo Alunita con



*Figura 15. Voladura Secundaria con Plasma*

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

El diseño de la fractura secundaria se siguió utilizando el método de uso cápsulas de PrimalFract 1,3 PMD dentro de los pozos, teniendo como consideración el no sobrepasar un FP de 60 g/m<sup>3</sup>, esto en función a las condiciones del bolón o rocón



*Figura 16.* Diseño de la Fractura Secundaria con tecnología Plasma  
Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

Tabla 15.  
*Parámetros de voladura secundaria con Plasma*

Fecha de Fractura	Nº de pozo	Diámetro de Pozo (Pulg.)	Profundidad de Pozo real (m)	Taco Final Promedio (m)	Nº cápsulas utilizadas	FP (g/m <sup>3</sup> )
21/12/2018	1	4.0	2.7	1.8	2	
21/12/2018	2	4.0	3.0	1.6	3	52
21/12/2018	3	4.0	4.0	1.7	5	
			9.7	1.7	10	52

Fuente: Elaboración propia. Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

### Etapas de la tarea

Previa evaluación del plan de trabajo, y tomando en consideración de las medidas de control, se realiza la perforación e instalación de las cápsulas de Plasma a los pozos y la activación final de éstos.



*Figura 17.* Etapas 1 y 2 de la tarea: Voladura Secundaria con Plasma

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)



Figura 18. Etapas 3 y 4 de la tarea: Voladura Secundaria con Plasma

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Mínero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

### Resultados de la Fractura Secundaria

La fractura secundaria registró los resultados esperados, tal como se evidencia en la revisión post-fractura.



Figura 19. *Resultados de la Voladura Secundaria: Antes*

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)



Figura 20. *Resultados de la Voladura Secundaria: Después*

Fuente: Imagen tomada de un Proyecto Minero en Minería Superficial en la Región Cajamarca (Se reserva el nombre de la operación minera por tratarse de información confidencial)

### 3.6. Evaluación de Resultados de la Voladura con Plasma

De los resultados obtenidos podemos determinar lo siguiente:

Se mantiene la continuidad operativa de la mina y áreas colindantes.

La Granulometría del material derribado se encuentra en función a lo establecido por el proyecto, donde el Rendimiento fue de 3.5 m<sup>3</sup>/kg, de Plasma.

La ejecución de la fractura de roca se realizó sin generar niveles de ruido que perturbaran al personal de la compañía.

Los bajos niveles de vibraciones y altas frecuencias, donde a una distancia de 130 metros obtuvimos una VPP de 0.683 mm/s y una Frecuencia de 9.3 Hz.

El nivel de flyrock es bajo. Para cautelar el posible daño, son retirados los equipos fuera de un radio de influencia de tan solo 100 metros, trayecto que no se vio perjudicado por ningún efecto de Flyrock.

Los registros de vibraciones oscilaron entre los 0.803mm/s@150m, 1.054mm/s@130m hasta los 5.214mm/s@80m según los datos obtenidos en el Sismógrafo Superficial ubicado en los distintos puntos de la fractura.

### 3.7. Análisis Comparativo

Tabla 16.  
*Resumen Proyectos de Voladura con Explosivos*

PROYECTO	PPV (mm/s)			PPV SUMA (mm/s)	DISTANCIA (m)
	Trans.	Vert.	Long		
PY_180619	6.35	4.95	5.84	7.14	250
PY_240619	2.67	1.52	2.16	2.81	500
PY_300619	51.10	53.80	47.90	70.70	20
PY_030519	12.30	18.30	17.80	21.90	150
PY_080519	4.32	2.54	2.03	4.83	250
PY_090519	1.52	1.52	1.90	2.42	450
PY_120519	3.94	3.56	4.83	5.77	500
PY_230519	2.29	1.27	1.65	6.10	600
PY_240519	2.67	4.57	2.79	5.19	500

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17.  
Resumen Proyectos de Voladura con Tecnología Plasma

Proyecto	PPV (mm/s)			PPV SUMA (mm/s)	Distancia (m)
	Trans.	Vert.	Long		
PY003-011218	0.81	0.873	0.651	1.054	130
PY04-031218	0.635	0.587	0.683	0.803	150
PY05-051218	4.524	2.778	4.207	5.214	80

Fuente: Elaboración Propia

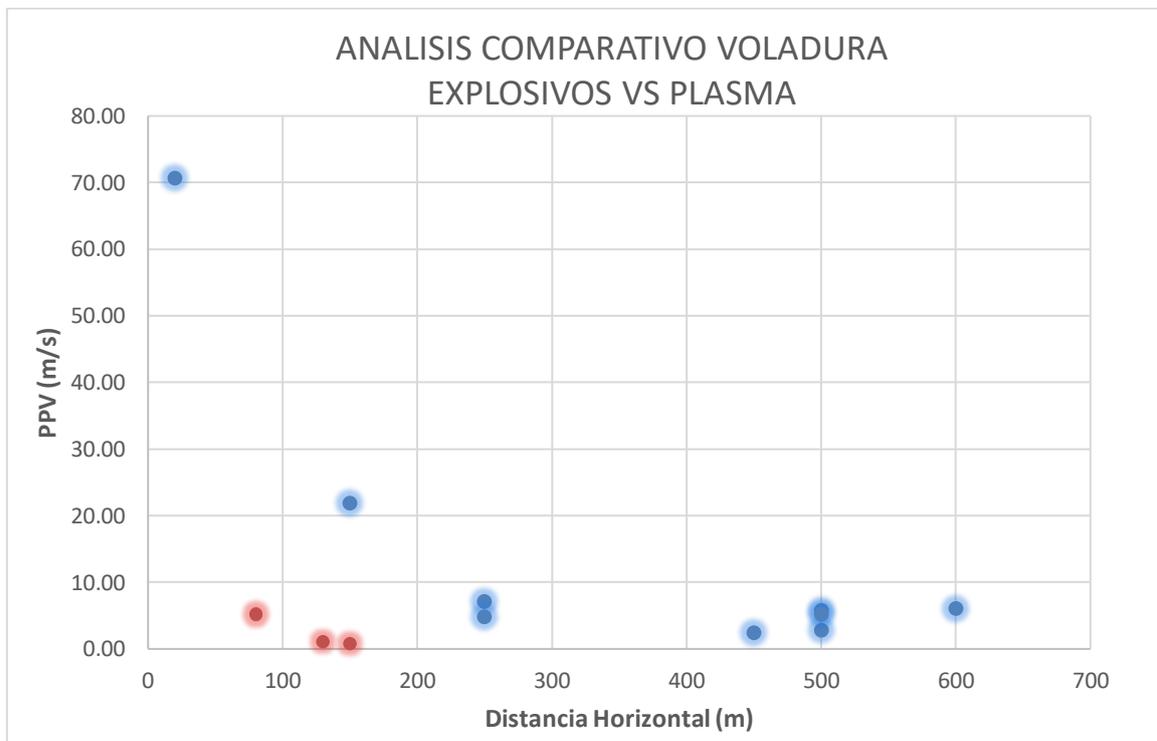


Figura 21. Análisis Comparativo Voladura con Explosivos - Voladura con Tecnología Plasma.

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

De las mediciones realizadas con equipos sismógrafos, ubicados a distancias establecidas en cada proyecto de voladura, en contraste a lo referenciado por (Ruiz, Otárola, & Rodríguez, 2007) se evidencian que en efecto, los explosivos que se usan en las operaciones mineras de voladura generan ondas que son transmitidas desde la fuente hacia diversas direcciones en la corteza terrestre, tales vibraciones pueden registrarse tanto en componentes verticales como en horizontales que pueden afectar a edificaciones cercanas a la zona.

En contraste con lo indicado por (Quiroz, 2014) cuando refiere que para minimizar los efectos de las vibraciones, es necesario el empleo de alguna técnica de voladura controlada, siendo el control de las vibraciones un factor importante para garantizar el mejor resultado de la voladura; esto, se ha evidenciado tanto en las propias mediciones realizadas en voladura con explosivos tanto como en las mediciones con el uso de tecnología plasma, ya que en ambas situaciones, siguiendo los parámetros definidos de una voladura controlada, se han obtenido resultados por debajo de los límites establecidos que no causen efectos negativos en las instalaciones del campamento minero y viviendas cercanas a la zona de voladura.

El uso de la tecnología del Plasma como solución no explosiva en operaciones de voladura en minería superficial ha beneficiado la operatividad de las actividades de

la mina, ya que no ha significado una alteración en el normal funcionamiento de la misma, así como tampoco se han visto vulnerados los parámetros de seguridad de las operaciones en toda el área, esto gracias al bajo grado de fly-rock, y al aceptable nivel de vibraciones que minimizan el posible daño en instalaciones adyacentes, esto en contraste a los indicado por Valenzuela (2010), quien recomienda su uso por la medición de parámetros (efectos de la voladura), que pare el caso se consideran aceptables.

El uso de la tecnología plasma en operaciones de voladura en minería superficial, incide en la disminución del efecto de las vibraciones en operaciones mineras superficiales en la Región Cajamarca, esto se sustenta en los bajos niveles de vibraciones y altas frecuencias, donde a una distancia de 130 metros obtuvimos una VPP de 0.683 mm/s y una Frecuencia de 9.3 Hz. Datos obtenidos como resultados.

No se han encontrado limitaciones importantes en el desarrollo de esta investigación, más allá de la incorporación de necesarios planes de diseño en cada trabajo de voladura realizada, puesto que actualmente se está incursionando con esta tecnología en las labores que normalmente se desarrollan convencionalmente.

De los resultados obtenidos en las mediciones aplicadas, queda demostrado que el uso de la tecnología plasma en operaciones de voladura en minería superficial, incide en la disminución del efecto de las vibraciones.

## 4.2 Conclusiones

En relación a la determinación de los efectos de las vibraciones por operaciones de voladura con el uso tradicional de explosivos en la minería superficial, se concluye que, tales efectos generan ondas vibratorias de magnitud importante que son transmitidas hacia las edificaciones cercanas y podrían afectarlas considerablemente. Los parámetros preponderantes que inciden en el incremento en la magnitud de la velocidad pico de partícula PPV (mm/s), son: la Distancia (m) desde el punto en el que se lleva a cabo voladura hasta el lugar de la medición y la Cantidad de explosivos utilizados (Kg). La PPV se incrementa a menores y distancias y ha mayor cantidad de explosivos.

En relación al análisis de la tecnología plasma en la variación de los efectos de las vibraciones producidas por operaciones de voladura en Minería Superficial, se concluye que, existe una notable reducción en las mediciones de ondas vibratorias que favorecen tanto a la continuidad operativa de la mina y áreas colindantes, no se han generado niveles altos de ruido por lo tanto se han anulado efectos perturbadores tanto en el personal como pobladores aledaños.

Del análisis comparativo de las mediciones de los efectos de las vibraciones tanto en voladura convencional con el uso de explosivos y con el uso de la tecnología plasma, concluimos que, es perfectamente posible minimizar el impacto tanto en instalaciones, así como en el área de influencia del proyecto, el medio ambiente colindante, con mínimos niveles de vibración, inexistente emisión de gases tóxicos y evacuaciones. Además del favorecimiento a la optimización de recursos, que otros proyectos podrían aplicar.

## REFERENCIAS

- Anicama, A. (2010). *Monitoreo de los efectos de las vibraciones producidas por la voladura de rocas: el modelo de vibración Colque*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Ausenco Perú S.A.C. (2013). Revisión de Estabilidad de Taludes del Tajo Tantahuatay. Compañía Minera Coimolache S.A.
- Bozo Ávila, C. A. (2017). *Tecnología Plasma: Tronadura en Armonía con el Medio Ambiente*. (Tesis de Pregrado), Universidad Andres Bello, Santiago. Chile.
- Compañía Minera Coimolache S.A. (2014). *Plan de Minado 2014 - 2019 Tajo Tantahuatay*. Cajamarca.
- Cruzado, G. (2009). *Estudio de Geología*. Gobierno Regional Cajamarca, Gerencia Regional de Planeamiento Presupuesto y Acondicionamiento Territorial. Cajamarca.
- Cueva Arauzo, O. (s.f.). Técnicas Modernas en Voladuras . Lima, Perú: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. Obtenido de <https://www.convencionminera.com/perumin32/doc/conferencias/tecnologia/ocueva-tt.pdf>
- De Elío de Bengy, S., Rodríguez Avello, A. S., Bonilla Bonilla, A., & Arribas Rosado, I. (25-28 de Mayo de 2010). Nuevo sistema de fragmentación por Alto Voltaje. Zaragoza, España: I Congreso Nacional de Minerales Industriales.
- Giraldo, F. (2010). *Control de vibraciones para casas de tierra en Perú*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- (1995). *Guía ambiental para la perforación y voladura en operaciones mineras*.

Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A.

Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Mc Graw Hill.

López Sánchez, L. M. (2003). Evaluación de la energía de los explosivos mediante modelos termodinámicos de detonación. Madrid, España. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/39424668\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_energia\\_de\\_los\\_explosivos\\_mediante\\_modelos\\_termodinamicos\\_de\\_detonacion](https://www.researchgate.net/publication/39424668_Evaluacion_de_la_energia_de_los_explosivos_mediante_modelos_termodinamicos_de_detonacion)

Ortiz, A. (2016). *Monitoreo de vibraciones, ondas acústicas y determinación de la onda de sopro por efecto de voladura en el tunel de aduccion de la central Hidroeléctrica Chaglla*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

Pampacata Holgado, L. (2015). Análisis de vibraciones Inducidos por la voladura de rocas en cantera Atocongo en zonas cercanas a poblaciones. Lima, Perú. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2096>

Peña Vizarreta, Y. J. (2014). Modelamiento, monitoreo y control de las vibraciones para evitar daños inducidos por la voladura de rocas de una operación minera superficial. Lima, Perú. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1125>

Puente, A. (2014). *Control de daños inducidos por la voladura de rocas*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Quiroz, C. (2014). Monitoreo de vibraciones causadas por voladuras en taludes. *Revista Electrónica de la Facultad de Ingeniería UPN*, 2(2), 53-61.

Ruiz, D., Otárola, C., & Rodríguez, J. (2007). Efecto de las vibraciones generadas por voladuras en minas sobre edificaciones residenciales de mampostería simple en Colombia. *Revista Internacional de desastres naturales accidentes e infraestructura civil*, 7(2-3), 259-272.

Segarra Catasús, P. (2004). Análisis Experimental de la Fragmentación, Vibraciones y

Movimiento de la Roca en Voladura a Cielo Abierto. Madrid, España. Obtenido de

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=2718>

Valenzuela Van Treeck, D. (Julio de 2010). Fracturamiento de Rocas mediante Tecnología

Plasma. Santiago de Chile, Chile.

Vásquez, N. (2013). *Predicción de la Ley de atenuación, frecuencia dominante y espectro*

*de respuesta en vibraciones producidas por voladuras a Cielo Abierto.* (Tesis de

pregrado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Velásquez Iparraguirre, J. D. (2015). Estudio descriptivo de optimización de los agentes de

voladura para controlar y/o mitigar los gases tóxicos generados al ser detonados,

Cajamarca – Perú, 2015. Cajamarca, Perú. Obtenido de

<http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/7102>

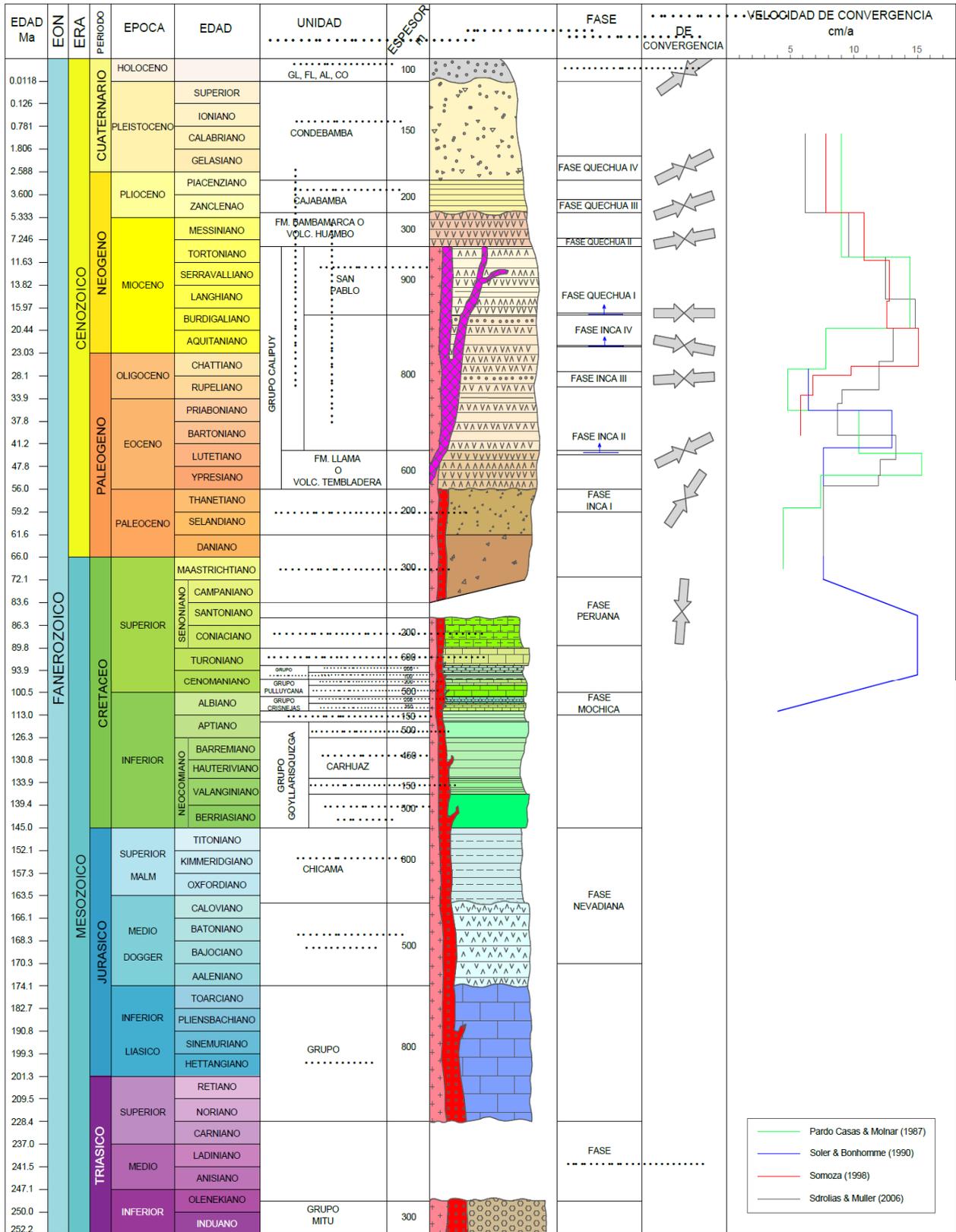
Zamoza, P. (2015). El Depósito Epitermal de Tantahuatay: De la exploración a producción;

logros y desafíos. *Perumin 32 Convención Minera, Encuentro de Tecnología e*

*Investigación.* Arequipa.

ANEXOS

ANEXO N°1. Cuadro Estratigráfico de la Región Cajamarca



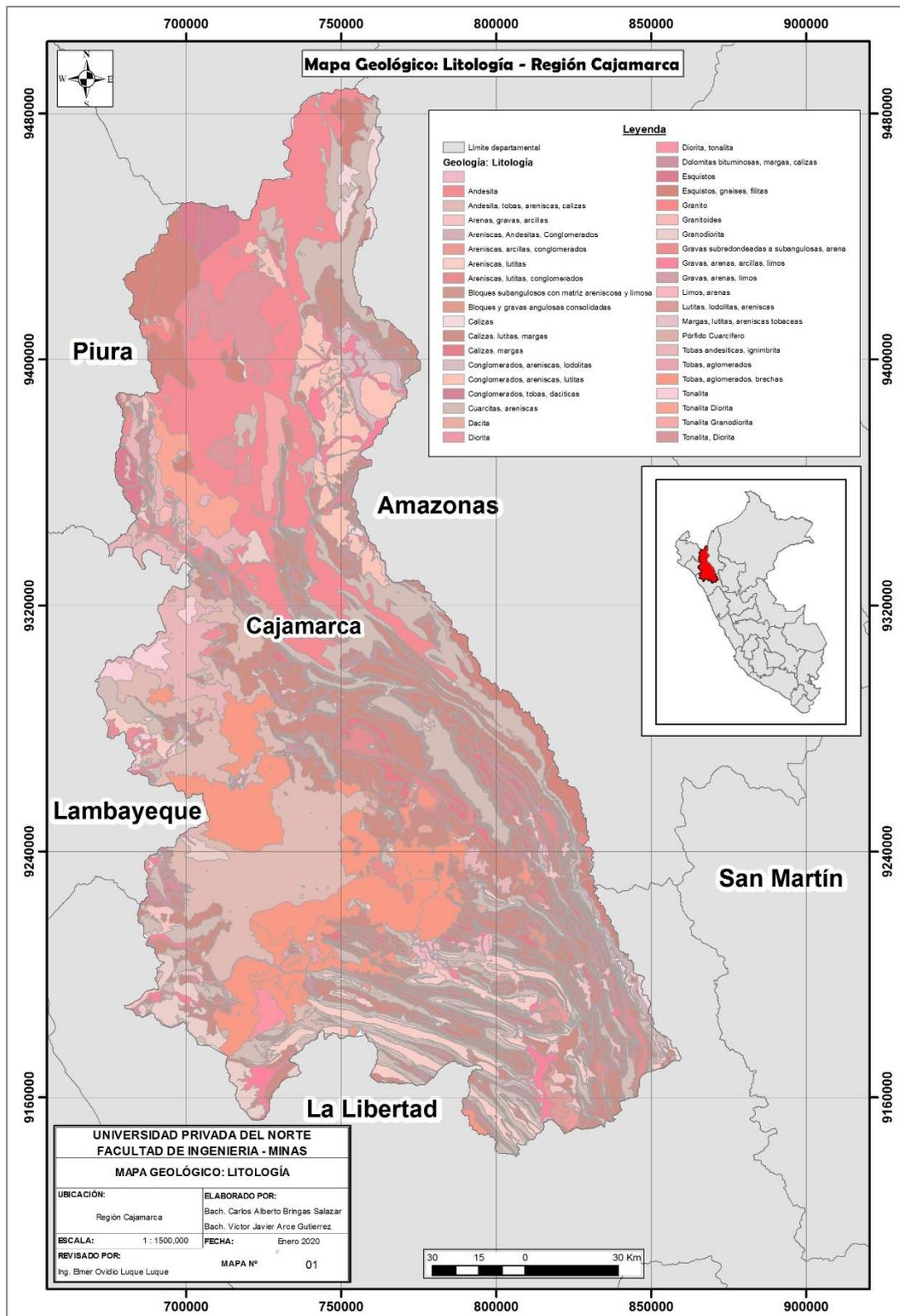
Extraído de: Bazán (2013)

**ANEXO N°2.** Propiedades Geotécnicas de Rocas encontradas en la Región Cajamarca

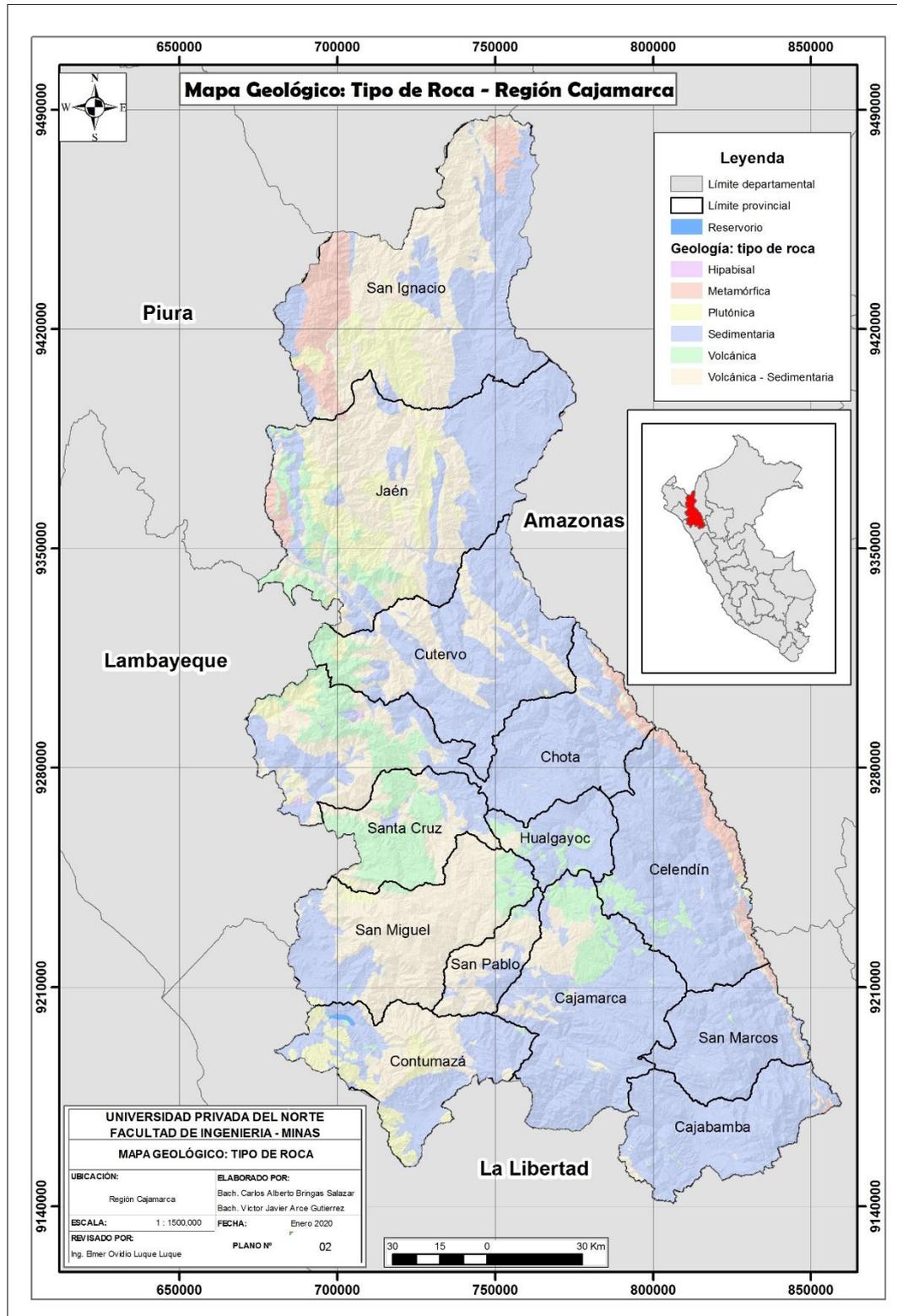
Ambiente de Origen	Tipo de Roca	Propiedades Geotectónicas				
		Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Resistencia a la compresión simple (kp/cm <sup>2</sup> )		Resistencia a la tracción (kp/cm <sup>2</sup> )
				Valores medios	Rangos de valores	
Volcánico	Andesita	2,2-2,35	10-15	2.100-3.200	1.000-5.000	70
	Riolita	2,4-2,6	4-6			
	Toba	1,9-2,3	14-40		100-460	10-40
Sedimentario	Arenisca	2,3-2,6	5-25 (16,0)	550-1.400	300-2.350	50-200
	Caliza	2,3-2,6	5-20 (11,0)	600-1.400	500-2.000	40-300
	Limolita				350-2.500	27
	Lutita	2,2-2,6	2-15	200-400	100-900	15-100 5-10*
	Marga			300-700	200-900	
Metamórfico	Cuarcita	2,6-2,7	0,1-0,5	2.000-3.200	1.000-5.000	100-300

Extraído de: Cruzado (2009)

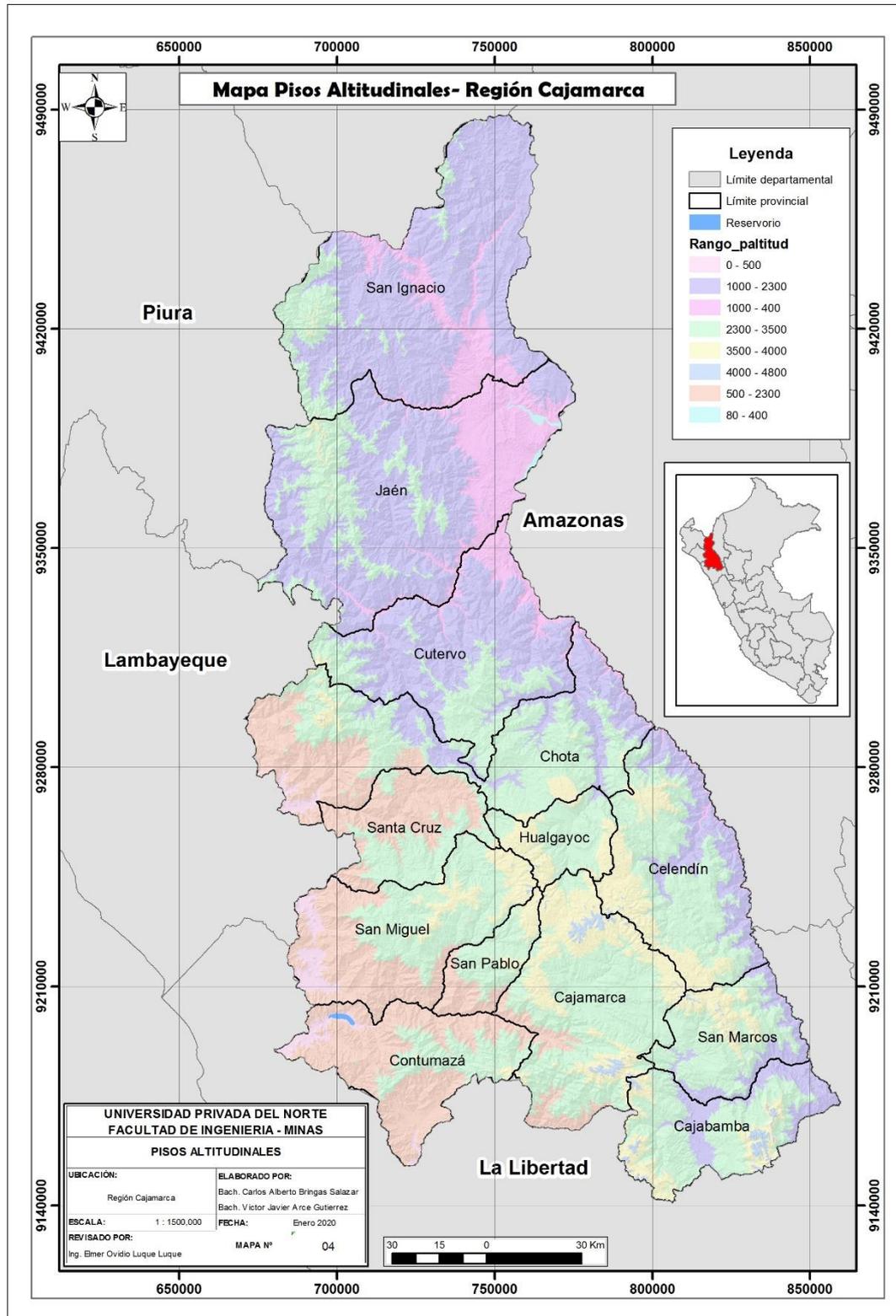
ANEXO N°3. Mapa de Litología: Región Cajamarca



ANEXO N°4. Mapa Geológico de Tipo de Roca: Región Cajamarca



ANEXO N°5. Mapa de Pisos Altitudinales de la Región Cajamarca



ANEXO N°6. Mapa Metalogénico de la Región Cajamarca

