

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Optimización de los Índices de Perforación y Voladura en el Avance de la Rampa Patrick  
IV para la Reducción de Costos Operacionales, en la U.M. San Andrés CIA. Minera  
Marsa 2021

Presentado por:

José Luis Cuellar Gonzales

Edwin Valverde Camero

Para optar el título profesional de ingeniero de minas

Abancay, Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

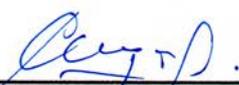
**OPTIMIZACIÓN DE LOS ÍNDICES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN EL  
AVANCE DE LA RAMPA PATRICK IV PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS  
OPERACIONALES, EN LA U.M. SAN ANDRÉS CIA. MINERA MARSÁ 2021**

Presentado por **José Luis Cuellar Gonzales** y **Edwin Camero Valverde** para optar el Título de:

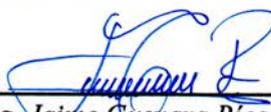
**INGENIERO DE MINAS**

Sustentado y aprobado el 07 de octubre del 2022, ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

  
\_\_\_\_\_  
*Mtro. Crisólogo Conza Ancaypuro*

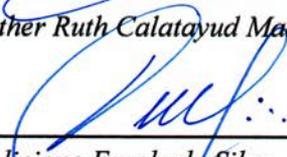
**Primer Miembro:**

  
\_\_\_\_\_  
*Ing. Jaime Guevara Rios*

**Segundo Miembro:**

  
\_\_\_\_\_  
*MSc. Esther Ruth Calatayud Madariaga*

**Asesor:**

  
\_\_\_\_\_  
*Mtro. Feliciano Escobedo Silva*



## **Agradecimiento**

*A nuestra alma mater Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por haber forjado nuestra formación académica y profesional.*

*A la Compañía minera MARSA, por las facilidades brindadas para la realización de la presente investigación.*

*A los jurados de tesis, por sus valiosos aportes que permitieron la mejora académica del trabajo.*

*A nuestros padres y familiares. gracias por su apoyo incondicional y paciencia en las horas difíciles.*



## **Dedicatoria**

*A mis padres Cristina Gonzales Ugarte y Sergio Cuellar Silva por su apoyo inmenso e incondicional y a quienes hicieron realidad de toda mi formación profesional, y con mucho cariño para mi hija Mia Jhamileth Cuellar Zamora que es mi motivación para lograr mis metas y anhelos.*

***José Luis Cuellar Gonzales***

*A mi esposa, Liliana Rojas Contreras y mis hijos: Pavel Franshresco y Diogo Stephano para que continúen con los pasos de su padre.*

***Edwin Valverde Camero***



Optimización de los Índices de Perforación y Voladura en el Avance de la Rampa Patrick  
IV para la Reducción de Costos Operacionales, en la U.M. San Andrés CIA. Minera  
Marsa 2021

Línea de investigación: Minería y procesamiento de minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>CAPÍTULO I</b> .....	4
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	4
1.1 Descripción del problema .....	4
1.2 Enunciado del Problema .....	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problemas específicos .....	4
1.3 Justificación de la investigación .....	5
1.3.1 Justificación teórica.....	5
1.3.2 Justificación practica .....	5
1.4 Ubicación y contextualización.....	5
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	6
2.1 Objetivos de la investigación .....	6
2.2.1 Objetivo general .....	6
2.2.2 Objetivos específicos.....	6
2.2 Hipótesis de la investigación .....	6
2.2.3 Hipótesis general .....	6
2.2.4 Hipótesis específicas .....	6
2.3 Operacionalización de variables .....	7
<b>CAPÍTULO III</b> .....	8
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	8
3.1 Antecedentes .....	8
3.1.1 Nivel internacional .....	8
3.1.2 Nivel nacional .....	9
3.2 Marco teórico.....	11
3.2.1 Perforación .....	11
3.2.1.1 Condiciones de perforación (ojo solo es una muestra del orden).....	11
3.2.1.2 Deficiencias de la perforación en taladros de menor diámetro en el subsuelo...	11
3.2.1.3 Ventajas de la perforación horizontal en el subsuelo .....	13
3.2.2 voladura.....	14
3.2.2.1 Evaluación de la voladura.....	15
3.2.3 Clasificaciones geomecánicas .....	16
3.2.3.1 RMR (Rock Mass Ratio), Bieniawski (1976) .....	16

3.2.3.2	Índice de calidad Q .....	16
3.2.3.3	Índice de calidad de roca (RQD) .....	17
3.2.3.4	Índice GSI (Índice de Resistencia Geológica).....	17
3.2.3.5	Correlaciones entre sistemas de clasificación .....	18
3.2.3.6	Deformabilidad de la roca intacta (Ei) .....	19
3.3	Marco conceptual.....	20
3.3.1	Estado del conocimiento .....	20
3.3.2	Estado de arte de la investigación .....	20
3.3.3	Fundamentos metodológicos.....	21
3.3.3.1	Relación entre ondas sísmicas y la voladura .....	21
3.3.3.2	Equipo de monitoreo de vibraciones generadas por voladura.....	21
3.3.3.3	Factores que afectan a las vibraciones.....	22
3.3.3.4	Reducción de vibraciones generadas por la voladura.....	22
3.3.4	Monitoreo de vibraciones.....	22
3.3.5	Cálculo de la VPPc -Velocidad Pico Partícula Crítica.....	23
3.3.6	Modelos de velocidad de las vibraciones .....	25
3.3.6.1	Modelos de Vibraciones para Campo Lejano – Modelo Devine.....	26
3.3.7	KPI de Voladura.....	27
3.3.8	Indicadores de Gestión de Voladura .....	28
3.4	Rampa .....	28
3.4.1	Tipos de Rampas .....	29
3.4.1.1	Rampas en Forma de Y .....	29
3.4.1.2	Rampa en Forma de Espiral.....	29
3.4.1.3	Rampa en Forma Zig – Zag .....	29
3.4.2	Campo de Aplicación .....	30
3.4.3	Características de la Rampa Patrick .....	30
3.4.4	Ventajas y Desventajas.....	32
<b>CAPÍTULO IV</b> .....		<b>33</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....		<b>33</b>
4.1	Tipo y nivel de investigación .....	33
4.1.1	Tipo de investigación .....	33
4.1.2	Nivel de investigación .....	33
4.2	Diseño de la investigación .....	33
4.3	Población y muestra .....	33
4.4	Procedimiento .....	34
4.5	Técnica e instrumentos y materiales de Investigación.....	34
4.5.1	Capacitación al personal de la labor.....	34
4.5.2	Monitoreo de vibraciones.....	34
4.5.3	Criterios para el modelamiento de vibraciones .....	35



4.5.4	Análisis de voladura controlado y convencional en los taladros de corona.....	35
4.6	Análisis estadístico.....	36
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>37</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>		<b>37</b>
5.1	Data previa a los resultados .....	37
5.1.1	Descripción de los resultados .....	37
5.1.2	Sobrerotura de la voladura en la Rampa Patrick IV antes de la investigación.....	37
5.1.3	Parámetros de perforación y voladura.....	41
5.2	Data durante y después de la investigación .....	42
5.2.1	Estándares planteados .....	42
5.2.2	Seguimiento y mejora en el proceso de perforación y voladura .....	42
5.2.3	Resultados de la voladura.....	44
5.2.4	Malla de perforación replanteada para la Rampa Patrick IV .....	47
5.2.5	Evaluación geomecánica la Rampa Patrick IV .....	48
5.3	Monitoreo de vibraciones la Rampa Patrick IV .....	49
5.3.1	Datos de campo .....	49
5.3.2	Cálculo de la curva de atenuación.....	50
5.3.3	Criterios de daño .....	52
5.3.3.1	Análisis estadístico aplicando Excel.....	52
5.3.3.2	Ensayo en los Cuadradores.....	52
5.3.3.3	Resulta de los Ensayos en los Cuadradores.....	53
5.3.3.4	Ensayo en la Corona.....	53
5.3.3.5	Resulta de los Ensayo en la Corona.....	54
5.3.3.6	Resumen de los resultados de la investigación.....	55
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>58</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>58</b>
6.1	Conclusiones .....	58
6.2	Recomendaciones .....	58
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>59</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>62</b>
<b>PANEL FOTOGRÁFICO .....</b>		<b>64</b>
<b>REPORTER SISMOGRAFO.....</b>		<b>69</b>
<b>PLANOS.....</b>		<b>82</b>



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> — Operalización de las variables .....	7
<b>Tabla 2</b> — Velocidades de partículas criticas estimadas para distintas rocas .....	24
<b>Tabla 3</b> — Criterios de daños utilizados según (Cameron Mackenzie, 1993). .....	25
<b>Tabla 4</b> — Criterios para el cálculo de la distancia escalar .....	25
<b>Tabla 5</b> — Resultados de voladura de la Rampa Patrick antes de la investigación. ....	38
<b>Tabla 6</b> — Resultados de voladura de la Rampa Patrick después de la investigación. ....	45
<b>Tabla 7</b> — Resultados con el replanteo de malla y diseño de carga.....	46
<b>Tabla 8</b> — Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).....	48
<b>Tabla 9</b> — Data de campo Rampa Patrick IV. ....	49
<b>Tabla 10</b> — Rendimiento referencial Rampa Patrick IV.....	50
<b>Tabla 11</b> — Criterio de daño según Cameron Mckenzie. ....	52
<b>Tabla 12</b> — Pruebas en los Hastiales .....	52
<b>Tabla 13</b> — Resumen de los resultados de las pruebas en el Hastial. ....	53
<b>Tabla 14</b> — Pruebas en la corona. ....	53
<b>Tabla 15</b> — Resumen de los resultados de las pruebas en la Corona.....	54
<b>Tabla 16</b> — Resumen de Resultados de los índices de Perforación y Voladura.....	55
<b>Tabla 17</b> — Resumen de Resultados de los Índices de Perforación y Voladura.....	56
<b>Tabla 18</b> — Resumen de Resultados de los Índices de Perforación y Voladura.....	56



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> — Ubicación de la Cia. Minera Marsa.....	5
<b>Figura 2</b> — Perforación horizontal con Jumbo en la Rampa Patrick IV.....	11
<b>Figura 3</b> — Diagrama de fallas de perforación que causan fallas.....	12
<b>Figura 4</b> — Diagrama de fallas de perforación que causan fallas.....	13
<b>Figura 5</b> — equipo de perforación frontal (Jumbo) Rocket Boomer S1D, utilizada en MARSА.....	13
<b>Figura 6</b> — Denominación de los taladros en un frente. (EXPLOSIVOS SA(EXSA).....	14
<b>Figura 7</b> — Amarre de la malla de voladura en la profundización de la Rampa Patrick IV...	15
<b>Figura 8</b> — resultado de la voladura en la rampa Patrick IV .....	16
<b>Figura 9</b> — Tabla geomecánica según GSI modificado, SGI Marsa. ....	18
<b>Figura 10</b> — Curva de factor de daño – fuente área geomecánica MARSА.....	19
<b>Figura 11</b> — Curva de factor de daño – fuente área geomecánica MARSА .....	19
<b>Figura 12</b> — Tipos de onda.....	21
<b>Figura 13</b> — Sismógrafo y geófono INSTANTEL MINIPRO6 utilizado en las mediciones de las vibraciones. ....	22
<b>Figura 14</b> — Detalle de una Rampa .....	28
<b>Figura 15</b> — Detalle isométrico del inicio de la rampa Patrick I.....	31
<b>Figura 16</b> — Rampa de Sección 4.00 m x 4.50 m.....	31
<b>Figura 17</b> — Voladura controlada utilizando cañas.....	35
<b>Figura 18</b> — Voladura no controlada.....	35
<b>Figura 19</b> — Ley de atenuación de taladros periféricos.....	36
<b>Figura 20</b> — Eficiencia de avance de la Rampa Patrick IV en metros /disparo .....	39
<b>Figura 21</b> — % de Sobrerotura de la Rampa Patrick IV .....	39
<b>Figura 22</b> — Factor de carga lineal de la Rampa Patrick IV - (Kg/m.l.) .....	40
<b>Figura 23</b> — Malla de perforación MARSА.....	41
<b>Figura 24</b> —Seguimiento y capacitación en el marcado de la malla de perforación. ....	42
<b>Figura 25</b> —Seguimiento Cambio en la distribución de taladros en el arranque (hexagonal). .....	43
<b>Figura 26</b> —Seguimiento al uso de guidores.....	43
<b>Figura 27</b> — Uso de cañas, resultado de voladura. ....	44
<b>Figura 28</b> — Resultados de la voladura. ....	46
<b>Figura 29</b> — Malla de perforación. ....	47

<b>Figura 30</b> — ubicación de los sismógrafos en la Rampa Patrick IV.....	49
<b>Figura 31</b> — Curva de atenuación en el hastial.....	52
<b>Figura 32</b> — Curva de atenuación en la corona. ....	54
<b>Figura 33</b> — Gráfico de avance.....	55
<b>Figura 34</b> — Grafico de Factor de Carga Lineal. ....	56
<b>Figura 35</b> — Grafico de factor de carga en Kg /m <sup>3</sup> .....	56
<b>Figura 36</b> — Monitoreo 1.....	57
<b>Figura 37</b> — Monitoreo II. ....	57
<b>Figura 38</b> — Scoop utilizado para la limpieza en la profundización de la rampa Patrick IV. ....	64
<b>Figura 39</b> — Preparación de las cañas para la voladura de controlada de contorno en la profundización de la Rampa Patrick IV. ....	66
<b>Figura 40</b> — Perforación con Jumbo de dos brazos en la profundización de la Rampa Patrick IV.....	67
<b>Figura 41</b> — Trazado de la malla de perforación, en la profundización de la rampa Patrick IV.....	68



## INTRODUCCIÓN

Los trabajos de exploración con fines de incrementar las reservas minerales en la Cía. Minera Marsa, se realiza mediante la profundización de la Rampa Patrick en sus diferentes etapas: I, II, III y IV.

La profundización mecanizada acarrea nuevos retos tecnológicos y económicos, ya que el entorno geomecánico y geológicos presenta condiciones distintas, los costos operacionales se incrementan es forma especial la perforación y voladura. La optimización de la perforación y voladura es de suma importancia ya que implica los mayores costos de operación. Siendo urgente y necesario el estudio de la reducción de los costos de perforación y voladura para ello se debe determinar los índices de perforación y voladura.

El presente trabajo de investigación está estructurado de la siguiente manera:

Capítulo I: Título del proyecto, ejecutores, asesor, línea de investigación, Ubicación, datos generales de empresa minera Horizonte y fecha de presentación.

Capitulo II. Conformado por el planteamiento del problema, descripción del problema, enunciado del problema general, problemas específicos, objetivo general, objetivos específicos, la justificación, y delimitaciones encontradas en la realización del proyecto.

Capítulo III: Marco teórico, antecedentes de a investigación, a nivel internacional y nacional

Capítulo IV: Diseño metodológico.

Refiere a la metodología empleada para la ejecución de este trabajo donde se consideró variables de investigación como, el tipo, nivel, diseño, población y muestra.

Capítulo V: Resultados y Discusiones

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.

Finalmente se adjunta la bibliografía y los anexos. El principal objetivo del presente trabajo es reducir los costos operacionales en la profundización de la rampa Patrick. El propósito de la investigación es determinar la optimación de la perforación y voladura para reducir la sobrerotura.



## RESUMEN

La profundización de labores en la minería subterránea peruana, trae como retos optimizar los costos de operación. En Minera Marsa S.A, unidad San Andrés, se viene realizando la apertura de la Rampa Patrick IV. El principal problema de las operaciones mineras en la apertura de la Rampa Patrick es la Sobrerotura, que incrementa los costos operacionales, principalmente la limpieza y la generación de sobre costos en la estabilización de la rampa. Frente a este problema se ha propuesto el planteamiento y de potencia de los explosivos, así como reducir la sobre perforación.

Mediante el uso de sismógrafos se ha realizado la evaluación de las voladuras, con la nueva propuesta, lográndose optimizaciones del KPI de perforación y voladura. El factor de carga (Fc.) se redujo de 25 a 23.280 Kg/m y la reducción del factor de potencia (Fp.) de 1.29 a 1.05 Kg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, no se pudo reducir la sobrerotura a lo programado planificado el KPI de sobrerotura se excedió en un 9.41 %.

Queda pendiente realizar nuevas propuestas de voladura controlada mediante recorte que permita reducir al 100% la sobrerotura.

***Palabras clave:*** Rampa. Optimización de costos operacionales y KPI.

## ABSTRACT

The deepening of work in the Peruvian underground mining, brings as challenges to optimize the costs of operation. At Minera Marsa S.A, San Andrés unit, the Patrick IV Ramp is being opened. The main problem of the mining operations in the opening of the Patrick Ramp is the Overbreaking, which increases the operational costs, mainly the cleaning and the generation of excess costs in the stabilization of the ramp. Faced with this problem, the approach and power of the explosives have been proposed, as well as reducing overdrilling.

Through the use of seismographs, the evaluation of the blasting has been carried out, with the new proposal, achieving optimizations of the drilling and blasting KPI. The load factor (Fc.) was reduced from 25 to 23,280 Kg/m and the reduction of the power factor (Fp.) from 1.29 to 1.05 Kg/m<sup>3</sup>. However, it was not possible to reduce the overbreak to the planned schedule, the overbreak KPI was exceeded by 9.41%.

It is still pending to make new proposals for controlled blasting by means of trimming that allows reducing overbreaking to 100%.

**Keywords:** *Ramp. Optimization of operational costs and KPI.*



# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción del problema

En el proceso de la explotación minera subterránea la perforación y la voladura son las operaciones unitarias primordiales, cuya optimización dependerá la rentabilidad de la actividad. Sin embargo, claro está que a mayor profundidad se incrementan los costos operativos, ya que debido al uso de equipos Trackless las unidades de producción, transporte, servicios y los requerimientos de aire sufren un incremento, por lo que se requiere el análisis integral de los procesos unitarios de desarrollo: Perforación y Voladura, Acarreo y ventilación, en la Unidad minera San Andrés, en cumplimiento a las normas de la empresa y la normativa vigente D.S. 024-2016-EM. y su Modificatoria D.S. 023-2017-EM).

El incremento de costos operativos en el avance de la Rampa Patrick IV, trae consigo la búsqueda de alternativas y propuestas de solución, el presente trabajo pretende dar una de las respuestas al problema.

### 1.2 Enunciado del Problema

#### 1.2.1 Problema general

¿En qué medida se podrá optimizar los índices de perforación y voladura y reducir los costos operacionales en el avance de la Rampa Patrick IV en U.M. San Andrés?

#### 1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué técnicas de voladura se aplicarán para reducir la sobre rotura en el avance de la rampa Patrick IV, en la U.M. San Andrés?
- ¿Qué monitoreos se deben hacer para demostrar los modelos predictivos que permitan atenuar los daños al macizo rocoso en el en el avance de rampa Patrick IV, en la U.M. San Andrés?
- ¿Qué oportunidades de mejora del proceso de perforación y voladura se pueden identificar para optimizar los KPI, en el avance de la rampa Patrick IV, en la UM San Andrés?

### 1.3 Justificación de la investigación

#### 1.3.1 Justificación teórica

La investigación permitirá determinar la reducción de los costos operacionales en el avance de la profundización de la Rampa Patrick IV, por ser un específico aportará nuevos conocimientos teóricos en dicha realidad.

#### 1.3.2 Justificación practica

La investigación está orientado a la aplicación de la optimización de los índices de perforación y voladura, para reducir los costos operacionales en el en el avance Patrick IV, en la unidad minera San Andrés; Por ende, la reducción de los costos operacionales de perforación y voladura permitirá lograr mayores utilidades a la empresa.

### 1.4 Ubicación y contextualización

La Unidad Minera San Andrés, de la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. se halla ubicado en: Anexo Llacuabamba, Distrito: Parcoy, Provincia: Pataz. región la Libertad.

Coordenadas UTM

Este= 232 502

Datum WGS-84

Norte= 9 108 629

Zona=18

Cota= 3904 msnm

Franja=L



**Figura 1 — Ubicación de la Cía. Minera Marsa.**

Extraído de Google Earth

## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1 Objetivos de la investigación

##### 2.2.1 Objetivo general

Determinar los índices de perforación y voladura, para la reducción de costos operacionales en la profundización de la rampa Patrick IV en la Unidad minera San Andrés.

##### 2.2.2 Objetivos específicos

- Emplear técnicas de voladura controlada con el fin de reducir la sobrerotura en el avance de la Rampa Patrick IV, en la U.M. San Andrés.
- Realizar monitoreos de vibraciones a las voladuras para demostrar con modelos predictivos de atenuación el daño al macizo inducido por voladura en el en el avance de la rampa Patrick IV, en la U.M. San Andrés.
- Identificar oportunidades de mejora en el proceso de perforación de voladura trabajando en ellas para optimizar los KPI actuales de P&V (avance, factor de carga y sobre rotura) en el avance de la rampa Patrick IV, en la U.M. San Andrés.

#### 2.2 Hipótesis de la investigación

##### 2.2.3 Hipótesis general

La optimización de los índices de perforación y voladura logra reducir los costos de operaciones de perforación y voladura de rocas en el avance de la rampa Patrick IV, en la U.M. San Andrés.

##### 2.2.4 Hipótesis específicas

- Con el empleo de técnicas de voladura controlada permite reducir la sobre rotura en las labores asignadas en el avance de la rampa Patrick IV, en la U.M. San Andrés.

- La realización de los monitoreos de vibraciones a las voladuras, permite demostrar los modelos predictivos de atenuación del daño al macizo rocoso en la voladura en el avance de la rampa Patrick IV en la U.M. San Andrés.
- La identificación de oportunidades de mejora en el proceso de perforación de voladura permite optimizar los KPI actuales de perforación y voladura, factor de carga y sobrerotura en la profundización.

### 2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1— Operalización de las variables

Variables	Dimensión	Indicador	Instrumentos
	Clasificación Geomecánica	RMR	Mapeo geomecánico
<b>Independiente (VI)</b>			
Optimización de los índices de perforación y voladura		VPP (Velocidad pico de partícula) Parámetros de	Cálculo de la curva de Atenuación: . Cálculo de GSI . Cálculo de Q Cálculo de la velocidad crítica de partícula (Modelo de Devine)
	Monitoreo de Vibraciones		. Módulo de Macizo Rocosos
	de voladura en la Rampa Patrick IV	Atenuación: $K$ y $\alpha$	. Relación de Módulo
		Carga operante	. Módulo de roca intacta- Módulo de Young
<b>Dependiente (VD)</b>		. Volumen roto	KPI (Indicador clave de rendimiento)
Reducción de los costos operacionales	Eficiencia de perforación y voladura en la rampa Patrick IV		KPI (perforación)
		. Tonelaje roto	
		. Factor de carga	
		. Factor de avance lineal	KPI(Voladura)



## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 Antecedentes

##### 3.1.1 Nivel internacional

- (MAYORAL FERNANDEZ, 2008) En su investigación de tesis doctoral en la universidad de Oviedo (España) titulado “**Optimización técnico-económica de perforación de barrenos en terrenos homogéneos, buscando leyes de desgaste para brocas de perforación.**”, refiere que en la minera actual existe un doble enfoque técnico-económico que tiene que ser investigado en cada operación minera, siendo la perforación una de las actividades que mayor incidencia genera en los costos de operación y dentro de ella se debe considerar el desgaste de las brocas de perforación ,que se debe específicamente por la abrasión.
- (DE COSPEDAL PEREZ-COSIO, 2019), En la tesis de maestría en la Universidad politécnica de Cartagena(España) “**Utilización de la medida de Vibraciones en Voladuras para el conocimiento de daños al macizo de roca ornamental**”, concluye que el uso de las vibraciones provocadas mediante voladuras en las excavaciones ,permite conocer la daños a las estructuras más cercanas a los frentes de trabajo, la carga operante optima puede ser determinada mediante la información que brindan las ondas de esta manera permite controlar los daños colaterales al macizo rocoso, aplicado en la explotación de rocas ornamentales, cuyo principal objetivo en la fragmentación en grandes bloques sin el mayor daño posible.
- (RUIZ VALENCIA, y otros, 2007) En el artículo científico “**Efecto de las Vibraciones Generadas por voladuras en minas sobre edificaciones residenciales de mampostería simple en Colombia**”, concluyen que las voladuras en la minería generan ondas que se transmiten en todas las direcciones desde la fuente. Estas vibraciones superficiales causadas por el paso de las ondas de rayleigh pueden ser registradas en dos componentes horizontales y una vertical en forma de registros contra el tiempo de aceleración, velocidad o desplazamiento. La investigación permitió desarrollar un modelo por elementos finitos (análisis modal espectral) que determina los daños ocasionados a las viviendas de mampostería simple más cercanas de las actividades mineras sometida a movimientos correspondientes a tres valores de  $R/W^{1/2}$  (siendo R la



distancia entre el lugar de medición y el sitio de la voladura y W el máximo peso de explosivo por unidad de retardo).

### 3.1.2 Nivel nacional

- (ROJAS LINARES, 2019) , En su trabajo final de tesis doctoral en la EPG de la Universidad Nacional mayor de San Marcos Lima Perú, titulado “**Enfoque predictivo para la optimización del tamaño de fragmentación en base a técnicas de perforación y voladura de rocas**”, centra su investigación en una sugerencia metodológica para hallar la granulometría predictiva en operaciones de voladura de rocas. Utiliza las técnicas de Kuznetsov, técnicas de análisis multivariante (MVA) y técnicas de redes neuronales artificiales (ANN), al final efectúa una comparación entre dichas técnicas, en función a su efectividad. La presente tesis demuestra en base a un análisis multivariante que se puede predecir la fragmentación teórica más óptima de un proceso de voladura, mediante las técnicas de Kuznetsov, regresiones lineales y redes neuronales artificiales. También se puede predecir la variabilidad granulométrica teórica, mediante el método de los Límites de Confianza al 95% y los Límites de la Predicción al 95%. monitoreos de vibraciones a las voladuras para demostrar con modelos predictivos de atenuación el daño al macizo inducido por voladura en el en el avance de la rampa Patrick IV, en la U.M. San Andrés.
- (CONDORI CONDORI, 2013) . En el trabajo de tesis de grado presentado en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa titulado “**Reducción de costos mediante la optimización del planeamiento a corto plazo en la Unidad Minera Pampa de Cobre**”, indica que el objetivo principal la optimización de las operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y acarreo, por lo que es preciso conocerlos rendimientos y performance de la operación de perforación y voladura. La importancia del planeamiento a corto plazo en los resultados del negocio minero, requiere de herramientas que permitan sensibilizar variables, ajustar parámetros y lo más importante, visualizar sus resultados inmediatamente para tomar decisiones en forma correcta y oportuna.
- (DE LA CRUZ COLOS, 2020) . Investigación de grado de la tesis de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, titulado “**Evaluación de los parámetros de perforación y voladura que inciden en la sobre excavación del By Pass 2724 Unidad Minera Parcoy- Consorcio Minero Horizonte S.A**”, concluye que la minería en un proceso de crecimiento y mejoramiento

continuo, caracterizándose por buscaren toda la actividad de explotación y administración mayor eficiencia y eficacia, para ello tanto los directivos y trabajadores se hallan involucrados y comprometidos en lograr una alta productividad, seguridad y calidad. La sobre- excavación se genera por el defecto diseño de las mallas de perforación y el uso excesivo de cargas explosivas inadecuadas en los taladros.

- (MELGAREJO GUILLERMO, 2018) . En su investigación de tesis de grado titulado “**Optimización del avance mediante el diseño de la perforación y voladura de rocas para minimizar costos operacionales en la construcción de la Rampa (-) principal en la U.M. Tambomayo Cía. de Minas Buenaventura SAA**”. El autor indica que la investigación, se justifica porque se debe aprovechar el alza de los precios de los metales para lo cual se debe incrementar la producción accediendo a las reservas mineras.
- (DIAZ OLIVERA, 2016) . En la tesis de grado presentado en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Máylalo de Ancash, titulado” **Optimización de la perforación y voladura de rocas para maximizar utilidades en la mina Panulcillo de Minera Cruz Ltda. – 2016.**” tesis realizada en Chile, refiere que el principal problema ha de resolver de la minería subterránea, es la reducción de costos, ya que tendencia al ahorro y la optimización de los procesos de perforación y voladura de rocas es una práctica constante para maximizar las utilidades.
- (ROJAS APARICIO, y otros, 2017). En su trabajo final de tesis presentado en la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH), en su trabajo de tesis titulado “**Diseño de malla de perforación y voladura para la reducción de costos en el nivel 1590 Crucero 520 de la U.E.A. Capitana- Corporación laces SAC. Minería y Construcción- Caravelí - Arequipa**”, concluyen que el diseño de malla de perforación y voladura adecuada reduce los costos significativamente en el nivel 1590 crucero 520. Esta basado en el modelo matemático Método Holmberg, adecuada para diseñar mallas en galerías y túneles.



## 3.2 Marco teórico

### 3.2.1 Perforación

Es la acción o proceso de aperturar un orificio circular con un taladro, con la finalidad de colocar un material explosivo (LOPEZ JIMENO, y otros, 1987 pág. 1). La perforación roto-percusiva se fundamenta en: Percusión, rotación, empuje y barrido, tal como se puede observar en la figura 2.



Figura 2 — Perforación horizontal con Jumbo en la Rampa Patrick IV

#### 3.2.1.1 Condiciones de perforación (ojo solo es una muestra del orden)

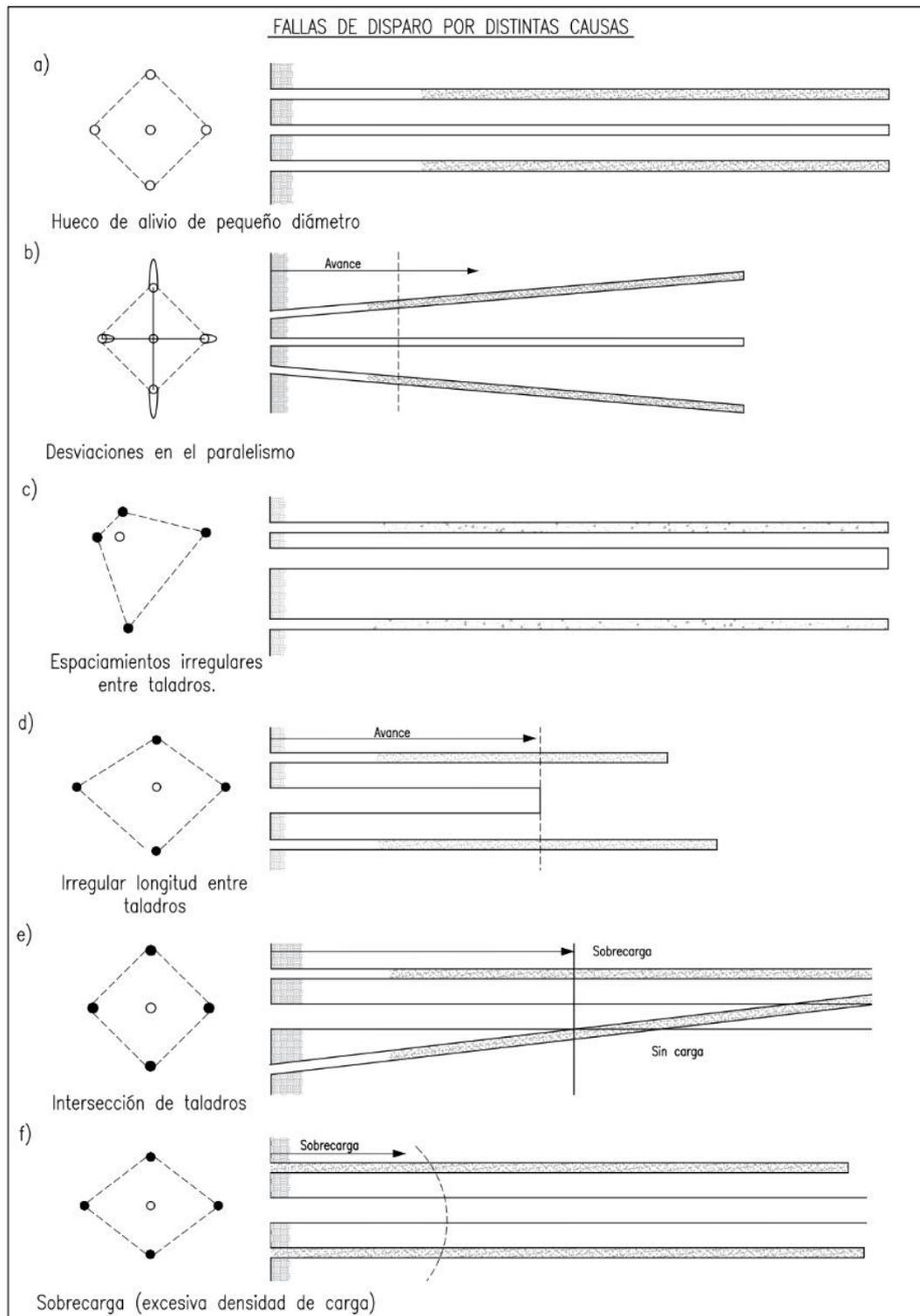
La perforación está intrínsecamente relacionada con la voladura, una buena voladura requiere una buena perforación, un buen diseño de malla los principales parámetros de perforación son:

- Diámetro
- Longitud
- Rectitud
- Estabilidad (EXPLOSIVOS SA (EXSA), 2019 pág. 76)

#### 3.2.1.2 Deficiencias de la perforación en taladros de menor diámetro en el subsuelo

La deficiencia del disparo ocurre por incorrecto diseño del arranque, inadecuado diámetro del taladro de alivio, desviación en el paralelismo, espaciamiento irregular entre taladros, irregular longitud de los taladros,

intersección entre taladros y sobrecarga de explosivos, tal como se describe en la figura N° 3 del manual de explosivos Exsa. EXPLOSIVOS SA (EXSA), 2019 pág. 77.



**Figura 3 — Diagrama de fallas de perforación que causan fallas.**

Extraído de (Explosivos S.A), 2019 pág. 77)

En la apertura de rampas, subniveles y túneles los trabajos ejecutados con taladros paralelos, es necesario taladrar los del techo (alzas) y pisos (arrastres) con cierto ángulo de inclinación, que permitan conservar igual el ancho de la sección; caso contrario la labor realizada poco a poco se estrechará paulatinamente, si los ángulos son mayores habrá sobre rotura.



**Figura 4 — Diagrama de fallas de perforación que causan fallas.**

Extraído de (EXPLOSIVOS SA(EXSA), 2019)

### 3.2.1.3 Ventajas de la perforación horizontal en el subsuelo

Las ventajas son:

- Reducción de la altura de tajeo, facilidad en el desatado de rocas.
- Incremento de la estabilidad del tajeo.
- Mayor control de dilución.
- Permite perforar taladros largos.
- El uso de los jumbos permite optimizar la operación de perforación y los mejores resultados se obtienen mediante la perforación horizontal.



**Figura 5 — equipo de perforación frontal (Jumbo) Rocket Boomer S1D, utilizada en MARSÁ.**

Extraído de (Atlas copco)

La nomenclatura peruana para nominar los taladros es: alza, Cuadradores (flancos), ayudas, arranques, de producción y arrastres tal como se aprecia en la figura 6.

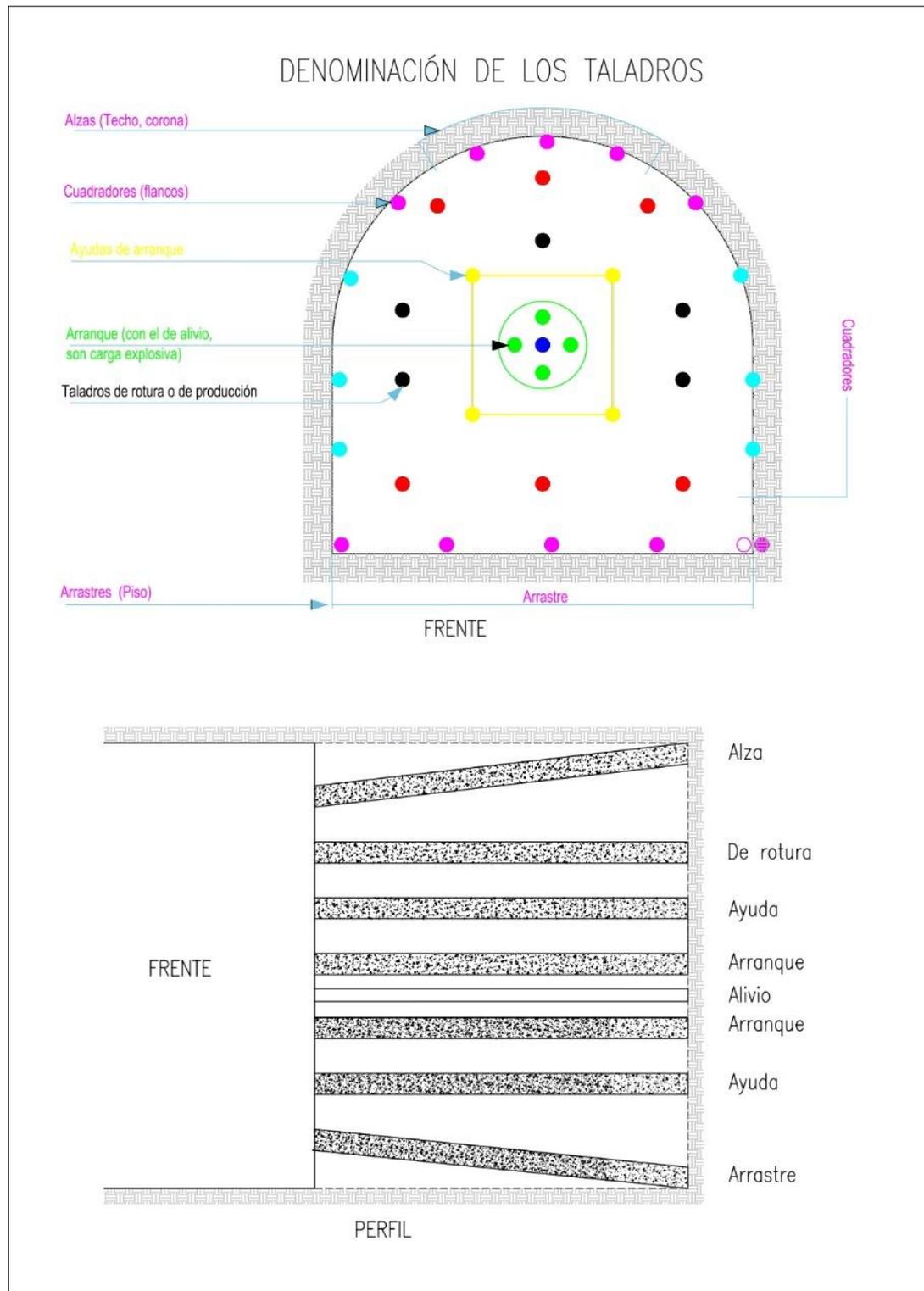


Figura 6 — Denominación de los taladros en un frente. (EXPLOSIVOS SA(EXSA))

### 3.2.2 voladura

Es la técnica de demoler una roca u otra mediante el uso de explosivos, de tal manera que con la menor cantidad de explosivo se maximice el volumen demolido. Los factores que determina el proceso de la voladura son: la perforación realizada, tipo de roca, numero de caras libre, tipo de explosivo y condición de carga.



La velocidad de reacción en referencia al tiempo es la principal característica, del avance tecnológico de la voladura de rocas, desde la combustión, deflagración a la detonación. En la actualidad se utiliza detonadores eléctricos, que ha mejorado los niveles de control y efectividad de las voladuras. (Exsa 2015 pág.)



Figura 7 — Amarre de la malla de voladura en la profundización de la Rampa Patrick IV

### 3.2.2.1 Evaluación de la voladura

La evaluación de los resultados de la voladura de rocas, se aprecian por los logros obtenidos, medidos cuantitativamente en el factor de carga ( $\text{Kg/Tm}$  o  $\text{Kg/m}^3$ ), así mismo se tendrá en cuenta los daños colaterales que haya afectado en sus alrededores. El factor de potencia ( $F_p$ ), es el mejor indicador que reportará el costo por unidad de avance.

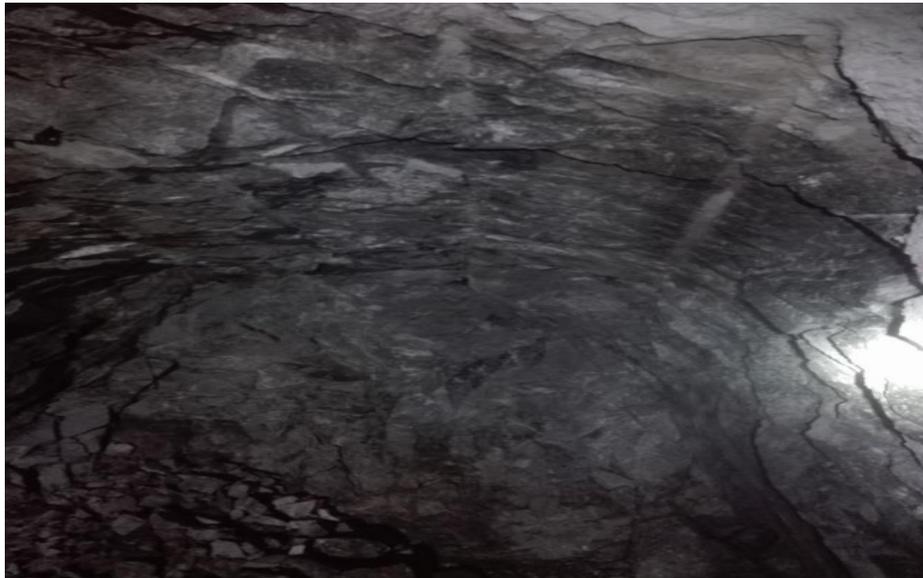


Figura 8 — resultado de la voladura en la rampa Patrick IV

### 3.2.3 Clasificaciones geomecánicas

#### 3.2.3.1 RMR (Rock Mass Ratio), Bieniawski (1976)

Evalúa la calidad del macizo rocoso, en base a seis parámetros:

- Resistencia de la roca intacta.
- RQD (Rock Quality Designation).
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condición hidrológica.
- Ajustes por orientación de las juntas.

#### 3.2.3.2 Índice de calidad Q

El índice de calidad Q, propuesto por Barton (1974), y también se basa en seis parámetros:

- RQD (Rock Quality Designation).
- Numero de las familias de las juntas ( $J_n$ ).
- Rugosidad de las juntas ( $J_r$ ).
- Meteorización de las juntas ( $J_a$ ).
- Presencia de agua ( $J_w$ ).
- SRF (Stress Reduction Factor).

La calidad del macizo rocoso se calcula con la fórmula:

$$Q = \frac{R.Q.D}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$$

Donde:

- 1.-R.Q. D: Índice de calidad de la roca.
- 2.-Jn: Número de familias de diaclasas.
- 3.-Jr: Rugosidad de las superficies de las discontinuidades.
- 4.-Ja: Alteración de las diaclasas.
- 5.-Jw: Coeficiente reductor. Presencia del Agua.
- 6.-SRF: Factor reductor del esfuerzo.

El primer coeficiente R.Q.D./Jn representa en la formula el tamaño de los Bloques.

El segundo coeficiente Jr/Ja representa en la formula la resistencia al corte de los bloques.

El tercer y último coeficiente Jw/SRF representa en la formula el estado tensional del macizo rocoso.

### 3.2.3.3 Índice de calidad de roca (RQD)

El índice de calidad de roca (RQD), sistemas más usados para caracterizar la competencia del macizo rocoso. 100 % corresponde al macizo más competente y 0% al menos competente. Existen 3 procedimientos para determinar el RQD la primera, a través de los testigos obtenidos mediante la perforación DDH (Diamond Drill Hole), la segunda contabilizando el numero fisuras por metro y la tercera contabilizando el número de fisuras por m3 (Jv).

### 3.2.3.4 Índice GSI (Índice de Resistencia Geológica)

Este índice de carácter geológico y geomecánico, evalúa al macizo rocoso, para lo cual considera dos nuevos criterios la estructura geológica y la condición de la superficie de las juntas.



<p><b>MARSA</b> Ingeniería y Construcción S.A.S.</p> <p><b>TABLA GEOMECAÁNICA SEGÚN GSI MODIFICADO</b></p> <p>Los códigos de <b>letra</b> que describen la estructura del macizo rocoso son referencialmente la combinación entre la estructura y la condición superficial y/o resistencia de éstas.</p> <p>Para estimar la clasificación del GSI, primero se tiene que determinar el número de fracturas por metro lineal en el punto de mapeo, luego se determina la condición superficial de las estructuras contadas (Resistencia).</p> <p>Con esta información se hace la interpolación en esta tabla, por ejemplo, si se cuenta 10 fracturas/metro y las condiciones superficiales de estas estructuras se indenta superficialmente; entonces, esta intersección clasificará al macizo rocoso como Moderadamente Fracturada / Mala (F/M) y el valor del RMR = 40 - 50 (color amarillo).</p> <p>↓ <b>ESTRUCTURA</b></p>		<p>↗ <b>CONDICION SUPERFICIAL ( RESISTENCIA )</b></p>										
		SOLO SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA (15) MUY BUENA (EXTREMADAMENTE RESIST. FRESCA) (MB)	SE ROMPE CON 3 O MAS GOLPES DE PICOTA (12) BUENA (RESISTENTE LEVEMENTE ALTERADA) (B)	SE ROMPE CON 1 O 2 GOLPES DE PICOTA (7) REGULAR (MOD. RESIST. LEVE A MOD. ALTER.) (R)	SE INDENTA SUPERFICIALMENTE (4) MALA (BLANDA MUY ALTERADA) (M)	SE INDENTA MAS DE 5 mm. (0-2) MUY MALA (MUY BLANDA, EXTR. ALTER.) (MM)						
<p><b>LEVEMENTE FRACTURADA (LF)</b> (2 - 6 Fract./ metro). Tres a menos familias de discontinuidades muy espaciadas entre sí. RQD (75 - 90)</p>	95 90	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/M	LF/MM						
<p><b>MOD. FRACTURADA (F)</b> (7 - 12 Fract./ metro). Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75)</p>	85 80	F/MB	F/B	F/R	F/M	F/MM						
<p><b>MUY FRACTURADA (MF)</b> (13 - 20 Fract./metro) Moderadamente trabada parcialmente disturbada, formados por 4 ó mas familia de discontinuidades (RQD 25 - 50),</p>	75 70	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/M	MF/MM						
<p><b>INT. FRACTURADA (IF)</b> (mas de 20 Fract./metro) Plegamiento y/o fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos e irregulares. (RQD 10 - 25)</p>	65 60	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/M	IF/MM						
<p><b>TRITURADA O BRECHADA (T)</b> Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados</p>	55	T/MB	T/B	T/R	T/M	T/MM						
		50	45	40	35	30	25	20	15	10	05	00

Figura 9 — Tabla geomecánica según GSI modificado, SGI Marsa

### 3.2.3.5 Correlaciones entre sistemas de clasificación

Las diversas clasificaciones del macizo rocoso, están relacionados mediante el índice de Q, para la cual se utilizan las siguientes formulas:

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



### 3.2.3.6 Deformabilidad de la roca intacta (Ei)

Hoek and Diederichs propusieron dos ecuaciones para estimar de forma empírica el módulo de deformación de la masa rocosa (Em) y la roca intacta (Ei) que están basadas en el Índice de Resistencia Geológica (GSI) y el factor de daño a la masa rocosa (D). Estas pruebas empíricas fueron realizadas en china y Taiwán, las fig. 10 y fig. 11 muestran las curvas del factor de daño que se considera en tres estados sin daño, daño moderado, daño severo a los cuales les asigna los valores de 0, 0.5 y 1 respectivamente. (Marinos, P. and Hoek, E. 2000 p 320).

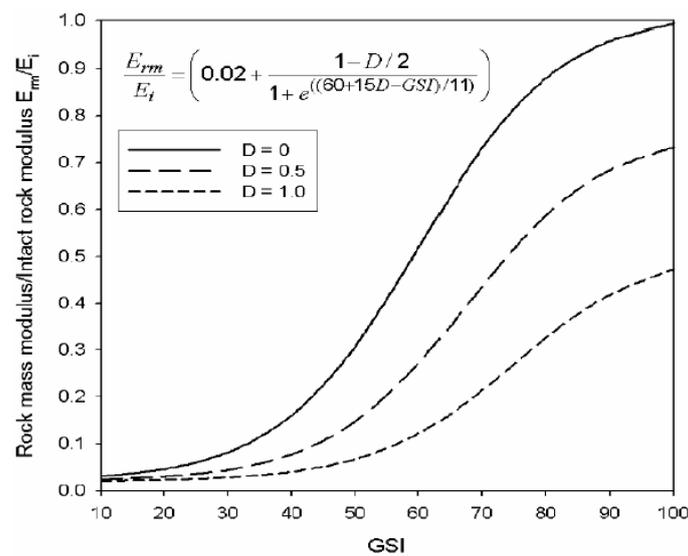


Figura 10 — Curva de factor de daño – fuente área geomecánica MARSA

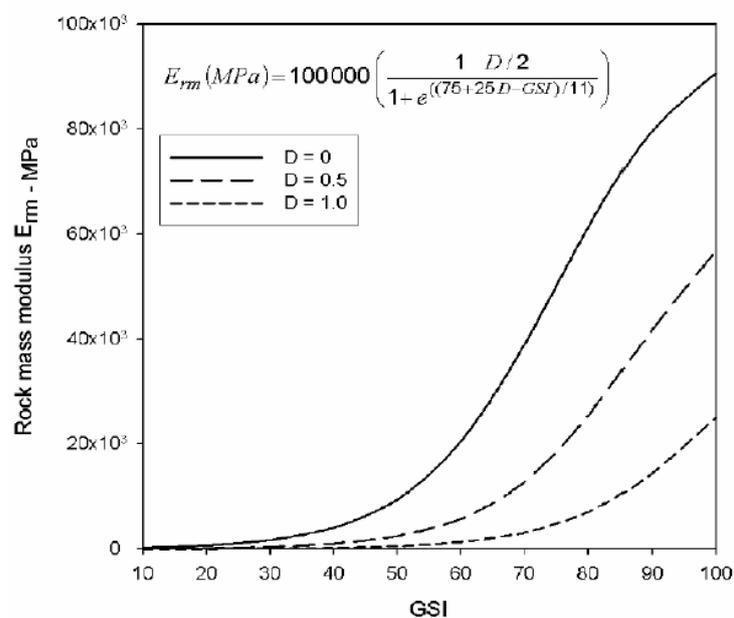


Figura 11 — Curva de factor de daño – fuente área geomecánica MARSA

### 3.3 Marco conceptual

Con la presente investigación se pretende demostrar que los resultados de las voladuras en las labores subterráneas pueden ser predecibles sus resultados mediante la medición de las ondas sísmicas generadas por la voladura de rocas y que pueden ser medibles mediante el uso de sismógrafos.

#### 3.3.1 Estado del conocimiento

Las siguientes fuentes bibliográficas e investigaciones aplicada, tratan específicamente de la parte conceptual del presente proyecto de investigación referidos en la variable independiente y dependiente:

**Cintex (2006) Manual de Monitoreo de Vibraciones Generadas por Tronaduras Análisis y Modelamiento.** En Chile existe un gran avance de la aplicación de monitoreo de las vibraciones en los trabajos de voladura de rocas, desarrolladas por Enaex y Cintex, el uso de los sismógrafos ha permitido tener un registro visual que permite su respectivo control. (CINTEX, 2006)

**Wilber Ancca Quispe (2017)** en su tesis de grado para obtener el título de Ingeniero geofísico en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, titulado, realiza una brillante descripción de la aplicación de la geofísica a la evaluación, predicción y control de los daños generados por la voladura. (ANCCA QUISPE, 2017)

**Cornejo Chacón Paul André & Huamán Rivas Paul Anduve (2020)** en su trabajo de investigación de grado, titulado “Estimación de un Modelo Predictivo de Vibraciones Inducidas por la Voladura en el Campo Medio y Campo Lejano para el Cuidado de Estructuras de una Mina Superficial en Proceso de Cierre”, en la Pontificia Universidad Católica del Perú, proponen el desarrollo de un modelo de predicción generadas por las voladuras, con fines de resguardo de la infraestructura y taludes de labores de un tajo abierto. Aplican en esta investigación las teorías de Devine, mediante la velocidad pico por partícula (PPV). (CORNEJO Y HUAMÁN 2020)

#### 3.3.2 Estado de arte de la investigación

El control y monitoreo de vibraciones generadas por la voladura en labores subterráneas, es una técnica aplicada de la ingeniería geofísica que cada vez se viene aplicando en la minería peruana, sin embargo, la divulgación de este nuevo conocimiento es escasa. Los resultados obtenidos serán de gran importancia para la universidad, así como para la empresa.



### 3.3.3 Fundamentos metodológicos

#### 3.3.3.1 Relación entre ondas sísmicas y la voladura

Comprobado está que, en el proceso de la voladura de rocas, la energía liberada por los explosivos, produce fracturamiento y causa deformación plástica y elástica de la roca.

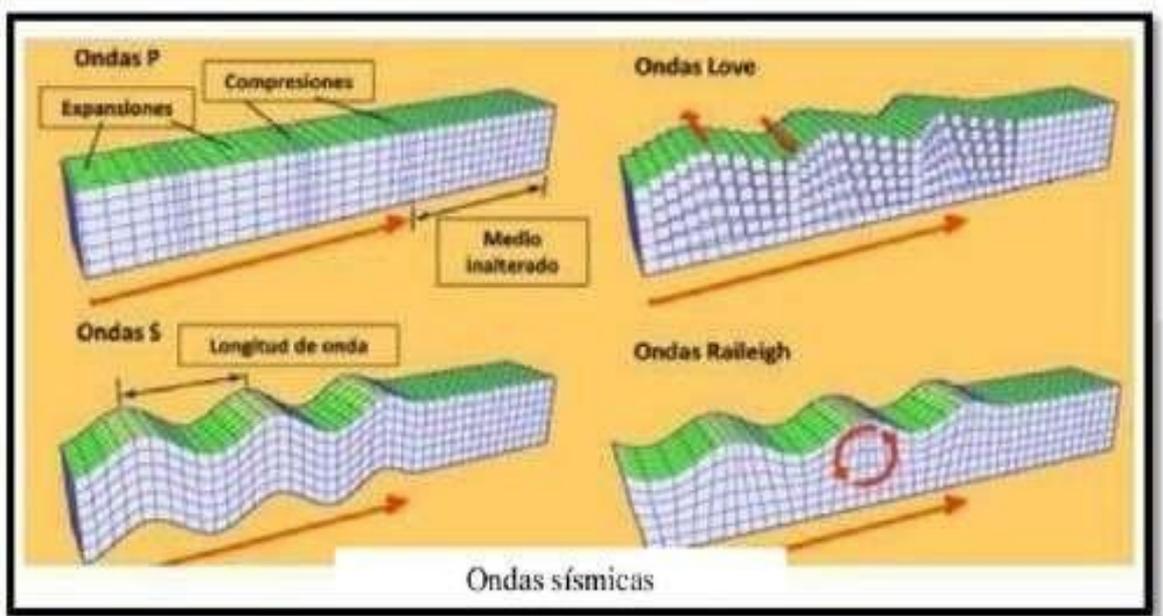


Figura 12 — Tipos de onda

En el conocimiento de esta propiedad se está aplicando en la evaluación de los daños colaterales al macizo rocoso de la labor minera, por lo que es factible medir las vibraciones generales mediante sismógrafo.

#### 3.3.3.2 Equipo de monitoreo de vibraciones generadas por voladura

Para el monitoreo de la voladura se emplea un geófono triaxial el cual transmite la información al sismógrafo marca Instantel, la información recolectada es grabada en archivos digitales los que posteriormente son analizados para identificar diferentes aspectos de la señal, como son los tiempos de arribo, los picos de amplitud de la vibración y frecuencia



Figura 13 — Sismógrafo y geófono INSTANTEL MINIPRO6 utilizado en las mediciones de las vibraciones

### 3.3.3.3 Factores que afectan a las vibraciones

- Cantidad de explosivo que detona simultáneamente
- Grado de confinamiento
- Características de la roca
- Distancia al lugar de la detonación
- Geología del terreno

### 3.3.3.4 Reducción de vibraciones generadas por la voladura

Es posible el control de las vibraciones generadas por las voladuras disminuyendo la carga operante, con la idónea carga de barreno, adecuado grado de confinamiento y generando una discontinuidad en la estructura para resguardar la voladura

### 3.3.4 Monitoreo de vibraciones

La adecuada realización de monitoreos de vibraciones producido por las detonaciones es una herramienta o técnica que facilita diversas ventajas ya que puede examinar en detalle el proceso de una voladura, como el poder medir el nivel de velocidades pico de las partículas que provoca una voladura según la cantidad de cada carga explosiva en los taladros de una labor explotada, también es un medio por el cual se puede conocer la eficiencia de la voladura, la interacción que existe con las cargas adyacentes (taladros de producción, caja techo y corona) y el rendimiento general del diseño. También una de las prioridades del monitoreo es obtener datos del sismógrafo para evaluar y analizar el nivel de daño que la vibración provoca (CINTEX, 2005).

Por lo general se utilizan geófonos o transductores triaxiales a cierta distancia. La señal detectada por estos transductores va a ser transmitida mediante un cable hasta el equipo sismógrafo que lo recibe. (CINTEX, 2005).

### 3.3.5 Cálculo de la VPPc -Velocidad Pico Partícula Crítica

(Segarra, 2004), indica que cuando se tiene vibraciones con niveles altos, estas causan mayores daños en el macizo rocoso, lo que puede producir nuevas fracturas o extender fracturas ya existentes. En este contexto la vibración podría considerarse como el esfuerzo o como la deformación del macizo rocoso.

También refiere que la velocidad de partículas, está relacionada con la creación de nuevas fracturas, esta se puede obtener datos y la relación entre la velocidad de partícula y el esfuerzo o detonación de la partícula, el cual es válido cuando la roca se encuentra confirmada en el área inmediata a las cargas explosivas.

Así mismo, menciona que esta relación de la deformación de la partícula, y la velocidad de la partícula podríamos analizar e indicar que tiene la cualidad para ser como un método de estimación de nivel de fracturamiento provocado al momento de realizar una voladura. Por ende, de lo mencionado líneas arriba se obtiene la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{VPP}{Vp}$$

Donde:

$\varepsilon$  = Deformación inducida.

$PPV$  = Velocidad pico partícula.

$Vp$  = Velocidad de la onda primaria u onda P

La ecuación anterior asume que la elasticidad de la roca es lineal mediante la cual la vibración se propaga y se realiza una estimación razonable de donde se obtiene la relación entre una roca fracturada y las vibraciones inducidas producto de la voladura.

Según Hooke se obtiene la velocidad pico de partícula crítica con la siguiente ecuación:



$$VPPc = \frac{\sigma t * Vp}{E}$$

Donde:

VPPc = Velocidad pico partícula crítica (mm/s)

$\sigma t$  = Resistencia a la compresión de la roca (Mpa)

Vp = Velocidad de la onda primaria u velocidad de la onda P (m/s)

E = Módulo de Young (módulo de elasticidad de la roca) Gpa

Según la ecuación proporcionada de Hooke se realizó estudios en diferentes minas, para poder estimar las velocidades de partículas críticas (VPPc) en algunas rocas, estas estimaciones se pueden observar en la siguiente tabla 2.

**Tabla 2 — Velocidades de partículas críticas estimadas para distintas rocas**

Tipo de Roca	Resistencia a la Tracción	Velocidad de Onda P (m/s)	Módulo de Young (Gpa)	Velocidad de Partícula Crítica (mm/s)
Cuarzo - 1	14.6	5102	55.5	1286
Brecha - 1	7.3	4298	30.2	1037
Milonita	1.9	2940	14.6	380
Ox - 1	6.7	4373	35.2	836
Ox - 2	7.2	4804	44.4	774
Cuarzo - 2	8.4	4207	42.7	823
Brecha - 2	3.9	4041	39.3	401
Andesita - 1	14.9	4975	67.3	1100
Diorita	13.2	4650	48.6	1260
Brecha - 3	11.3	4650	58.3	900
Pórfido - 1	6.7	3829	31.2	823
Pórfido - 2	5.1	3661	46.6	401

Una vez que se puede obtener el valor de VPPc, según (Cameron Mackenzie, 1993) indica que en relación a la VPPc a partir de esta se podrá estimar que el 25% del valor de VPPc o velocidad pico de partícula crítica, será suficiente para poder iniciar la extensión de fracturas preexistentes. Lo que Cameron indica es que el nivel de VPPc lo utilizaremos como un límite de control para los diseños de carguío de explosivos de esta forma las voladuras se podrán minimizar los niveles de daño al macizo rocoso, se puede mostrar la siguiente la tabla de criterio de daños al macizo rocoso:

Tabla 3 — Criterios de daños utilizados según (Cameron Mackenzie, 1993)

CRITERIOS DE DAÑOS	TIPOS DE DAÑOS
$> a 4 * VPP_{critico}$	Mayor o intenso fracturamiento
$> a 1 * VPP_{critico}$	Creación de nuevas fracturas
$> a 1 / 4 * VPP_{critico}$	Leve extensión de fracturas pre - existentes

### 3.3.6 Modelos de velocidad de las vibraciones

Se llegaron a establecer diversos modelos que describen el cálculo de la velocidad pico de la partícula (VPP), en función a la carga detonada por retardo o carga operante y la distancia que existe del punto de medición a la detonación.

En la tabla 3 se presentan diversos modelos, para el cálculo de la distancia escalar “D”, esta distancia escalar se calcular con los datos de la distancia en metros entre la detonación y el punto de medición, el peso del explosivo por retardo o carga operante en kilogramos, para los siguientes modelos presentados se tienen varios criterios que se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 4 — Criterios para el cálculo de la distancia escalar

<u>Criterio</u>	<u>Coefficiente Escalar</u>
Criterio General Exponencial	$D = \left( \frac{d}{w^{1/2}} \right) * e^{\left( \frac{\alpha * \beta}{\alpha} \right)}$
Criterio General	$D = \left( \frac{d}{w^{\beta/\alpha}} \right)$
Langerfors (1963)	$D = \left( \frac{d}{w^{3/2}} \right)$
Hendron (Bulletin 656)	$D = \left( \frac{d}{w^{1/3}} \right)$
Devine (1962)	$D = \left( \frac{d}{w^{1/2}} \right)$

Para poder calcular la distancia escalar se utilizará para el estudio el criterio de Devine (1962), ya que esta es recomendada cuando se utiliza cargas de explosivos



de forma cilíndrica, entonces según Devine la distancia escalar será igual a la distancia dividida por la raíz cuadrada de la carga del explosivo (López Jimeno, 2003).

$$D = \frac{(d)}{W^{1/2}}$$

Donde:

D= Distancia escalar

d= Distancia desde el transductor al punto de la voladura (m)

W= carga máxima del explosivo (kg).

Según (Contreras, 2009) indica que este criterio está demostrado que es el mejor que representa el comportamiento de vibraciones de una voladura en campo lejano para cargas de forma cilíndrica.

### 3.3.6.1 Modelos de Vibraciones para Campo Lejano – Modelo Devine

Como ya se mencionó, los diversos modelos de vibraciones nos van a permitir calcular y analizar el nivel de vibración los cuales primero realizamos mediciones en campo, de las mediciones en campo se podrá obtener lo siguiente:

- Las velocidades pico de partículas o suma de vectores de la voladura.
- La cantidad de explosivos (Kg) utilizados para generan cierto nivel de vibraciones.
- La distancia del sismógrafo al punto de voladura.

Modelo general:

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

Donde:

VPP = Es la Velocidad pico de partícula medido en mm/s

D = Distancia escalar, (m), da cuenta de la influencia de la distancia en (m) y la cantidad de explosivo en kg.

K: Factor de velocidad

$\alpha$ : Factor de decaimiento (atenuación)



En relación a esta formulación matemática existen varios criterios derivados de los cuales se emplea comúnmente el de DEVINE, ya que como se mencionó esta es la más adecuada para cargas de explosivos de forma cilíndrica, por lo tanto, reemplazando la anterior ecuación para el cálculo para el modelo de campo lejano sería la siguiente:

$$VPP = K * \left(\frac{d}{W^{1/2}}\right)^{-\alpha}$$

*Donde:*

*VPP* = Es la Velocidad pico de partícula medido en mm/s

*d* = Distancia desde el transductor al punto de la voladura (m).

*W* = Carga máxima de explosivo o carga operante (Kg).

*K* y  $\alpha$ : Están ligados a características del explosivo y la roca

*K*: Factor de velocidad

$\alpha$ : Factor de decaimiento (atenuación)

Constantes adimensionales. Para estos valores de las constantes  $\alpha$  y *K*, se van a obtener de una ecuación lineal, el cual se representa mediante un gráfico de dispersión. Para poder representarlo en un gráfico el eje X viene a ser la distancia escalar “D” y el eje Y serán los valores de las velocidades picos de partículas “PPV” obtenidos por el sismógrafo medidos en campo.

### 3.3.7 KPI de Voladura

El KPI (Key Performance Indicator), traducido al castellano como Indicador clave de desempeño, o rendimiento, son medidas para ayudar a una organización a definir y medir el logro de sus planificaciones (GAMERO LAURA, 2014). Los KPI tienen que ser:

- Específicos
- Medibles
- Alcanzables
- Relevantes
- Temporales

### 3.3.8 Indicadores de Gestión de Voladura

Los indicadores de la gestión de voladura a ser investigados son:

- Fragmentación
- Costos de perforación y voladura
- Velocidad y perforación
- Fallas de sistemas de iniciación
- Control de vibraciones

### 3.4 Rampa

Son galerías inclinadas, que sirven de acceso desde la superficie a las labores subterráneas. Se diferencian de los túneles por su forma de construcción. Pueden ser circulares, elípticas, zigzag, rectas. La pendiente para el tránsito de equipos es de 10 a 12%. Tienen como objetivo ganar longitud y altura se desarrolla fuera de la veta, sobre roca o material estéril como acceso de la superficie a interior mina o para unir dos o más labores horizontales o niveles subterráneos de diferentes cotas y usualmente están dirigidas hacia abajo.

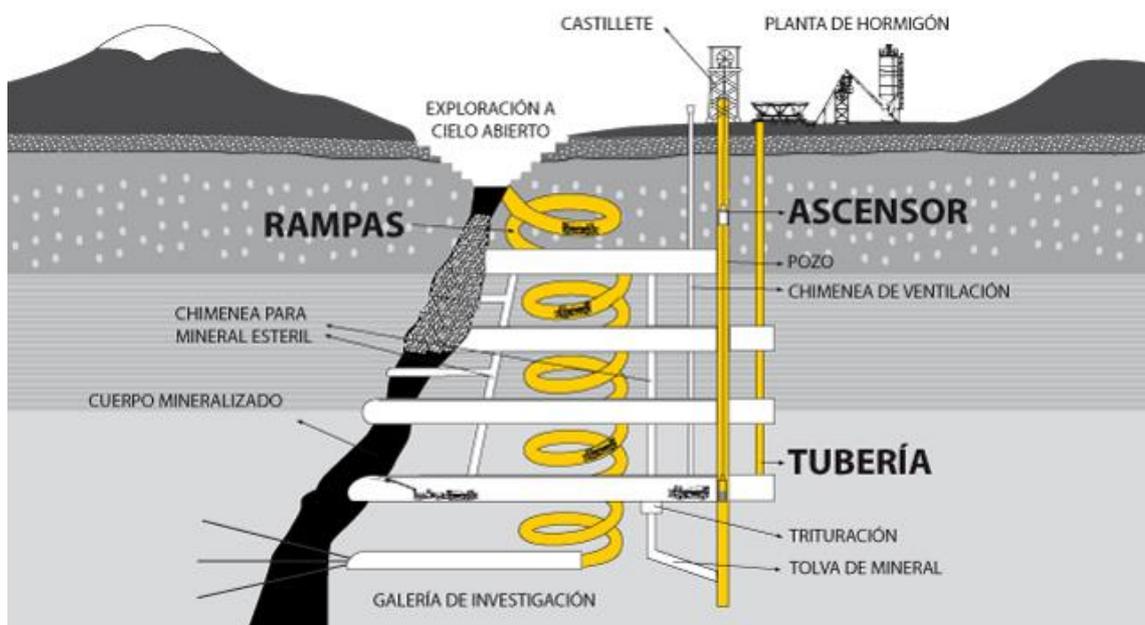


Figura 14 — Detalle de una Rampa

Extraído de [google.com/search?q=Tipos+de+rampas+en+minería+subterránea&sa=](https://www.google.com/search?q=Tipos+de+rampas+en+minería+subterránea&sa=)

### 3.4.1 Tipos de Rampas

#### 3.4.1.1 Rampas en Forma de Y

Estas rampas son muy poco usadas o casi nada en el Perú, generalmente es aplicable dentro de pequeñas vetas o cuerpos de mineral. Consiste en hacer una rampa superior para acceso de materiales y otros servicios, en especial relleno; y otra rampa inferior donde se espera la descarga del mineral extraído de los tajeos. Estas rampas son de rápido desarrollo y poca preparación.

#### 3.4.1.2 Rampa en Forma de Espiral

Es un sistema que une 2 niveles, se realiza dentro del yacimiento, en este circula todo el equipo motorizado, nos sirve como medio de transporte y llevar la secuencia de minado. En los extremos de esta rampa se hacen ventanas, para las operaciones de minado.

Las gradientes para estas rampas deben ser entre 7% a 12% y no mayor porque sería esforzar mayor a los equipos, puesto que no podrían restituir fuerza al equipo por mantenerse la misma pendiente en toda la longitud de la rampa, de nivel a nivel.

Una rampa en espiral puede dar malos resultados por:

- Poca visibilidad del operador de los equipos.
- Poca seguridad del personal y maquinaria.
- Aumento del desgaste de los equipos.

Por estas razones tiene poca aplicación. Otra desventaja de estas rampas es su diseño y también los equipos dan problemas de dirección (desgaste).

La experiencia demuestra que una rampa en espiral puede emplearse de manera óptima solo hasta una diferencia de cota de 30 m entre los puntos extremos de la rampa

#### 3.4.1.3 Rampa en Forma Zig – Zag

Aplicado por la minería mecanizada (Trackless), construyen las rampas en forma de Zig-Zag, que tiene las siguientes características:

- a. La construcción por lo general empieza de la superficie a un costado de la zona mineralizada y la longitud de la rampa va a depender de la longitud de la veta y la profundización.
- b. La rampa entra con una pendiente en promedio de 12% y llega a disminuir dicha pendiente en las curvas a 8%.

- c. Se desarrolla en material estéril o rocas duras y competentes de acuerdo a la recomendación geomecánica.
- d. La experiencia nos confirma realizar en lo posible paralela a la dirección de la veta o cuerpo, es decir en una de las cajas, de preferencia en la caja piso.
- e. La sección está en función a varios factores que son maquinaria a emplear, equipos de transporte, estudio geomecánico y las labores de desarrollo y exploración. A las zonas mineralizadas se va a entrar por los cruceros o ventanas desde estas rampas.

### 3.4.2 Campo de Aplicación

El sistema de rampas es básicamente aplicado para la explotación dentro de los tajeos serán de uso corriente y conveniente equipos Load Haul Dump (LHD = Carga Transporte Descarga) y Trucks o camiones para uso subterráneo de perfil bajo con los que se agiliza el transporte de mineral a la planta de beneficio, ya sea mediante un echadero principal a un nivel general a un chute para su transporte en camiones al exterior, o desde la misma labor cargando a los camiones. Esta modalidad es una parte de la mecanización, puesto que para perforación se realiza con jumbos de 1 a 2 brazos de acuerdo a las necesidades de la mina (sección de la rampa y condiciones para su utilización), los cuales se desplazarán sobre llantas propias.

### 3.4.3 Características de la Rampa Patrick

Es una rampa en Zig zag, se inició como alternativa de optimización de las operaciones de profundización de la mina, se inició como Patrick II, Patrick III y Patrick IV. y de acuerdo a mayores profundidades.

- Sección: 4.00 m por 4.50 m y 4.00 m por 4.00 m.
- Gradiente negativa o positiva con pendiente máxima de 12 % en las rectas.
- Sobre excavación permisible 10% (en alto y/o ancho), en curvas.
- Gradiente máximo es de 8 %.
- Radio de curvatura mínimo es de 25.00 m.
- Peralte de 0.5%
- Ancho en curvatura adicional de 0.50 m

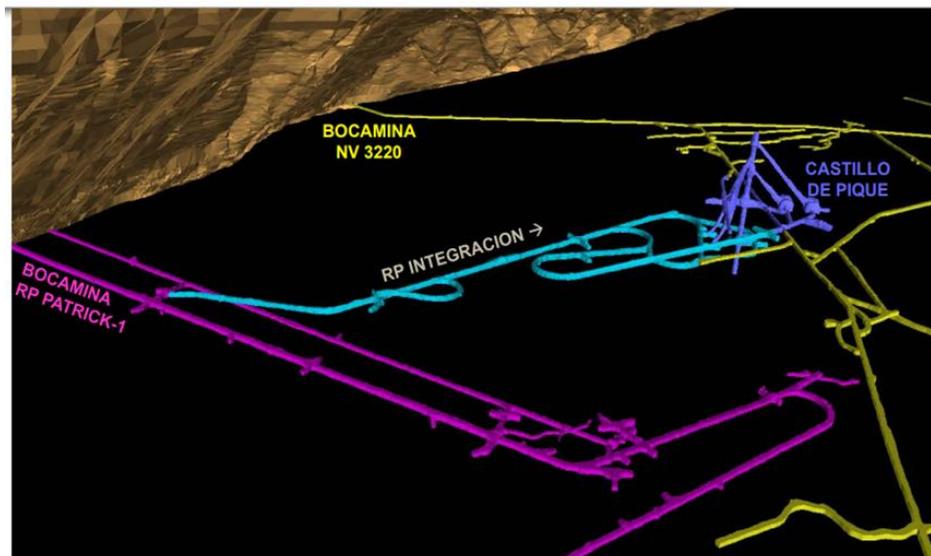


Figura 15 — Detalle isométrico del inicio de la rampa Patrick I

Extraído de [https://iimp.org.pe/pptjm/jm20150910\\_pique.pdf](https://iimp.org.pe/pptjm/jm20150910_pique.pdf)

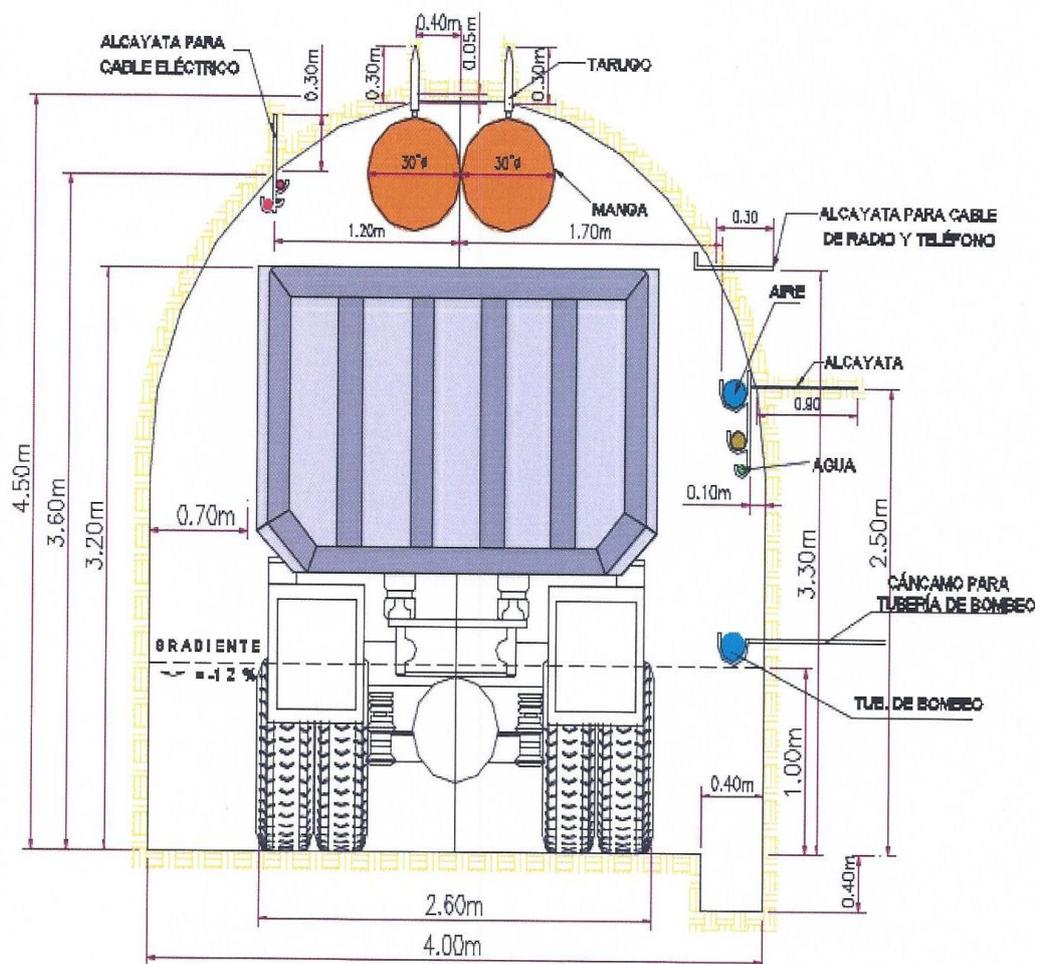


Figura 16 — Rampa de Sección 4.00 m x 4.50 m

Extraído de Marsa S.A

### 3.4.4 Ventajas y Desventajas

#### Ventajas:

- Mayor visibilidad que facilita el desplazamiento de maquinaria, personales y materiales.
- Mayor seguridad en el transporte de personal y equipos.
- Mayor tonelaje de extracción.

#### Desventajas:

- El tiempo de construcción es más elevado en comparación con el de un pique para la profundización.
- El costo de construcción es más elevado en comparación con el de un pique para la profundización.

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA

#### 4.1 Tipo y nivel de investigación

##### 4.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación de estudio es de tipo:

- Aplicada: Ya que el estudio está orientado a la búsqueda de un nuevo conocimiento que al ser aplicado dar solución al problema mediante procedimientos de análisis de vibraciones generadas por la voladura para la optimización de los índices de perforación y voladura de rocas en la profundización de la rampa Patrick IV. El estudio es de tipo aplicativo porque se enfoca en la aplicación directa e inmediata para la optimización de los índices de perforación y voladura en la rampa Patrick IV.
- Descriptivo: realiza una explicación detallada de la situación actual de los índices de perforación y voladura de la rampa Patrick IV
- Transversal: puesto que los datos recolectados en el campo prácticamente han correspondido un momento, siendo el propósito describir las variables y analizar sus relaciones en un momento dado, definiendo sus correspondientes alcances.

##### 4.1.2 Nivel de investigación

- El nivel de investigación es Explicativo: Porque se analiza la información resultante del tratamiento de los datos, los contrasta con los planteamientos teóricos, donde el estudio de causa – efecto los cuales requieren control y deben cumplir otros criterios de causalidad.

#### 4.2 Diseño de la investigación

La presente investigación se realizó con la información obtenida de las pruebas de uso de explosivos de las empresas EXSA y FAMESA que han realizado ensayos en la empresa minera Marsa, específicamente en la profundización de la Rampa Patrick IV.

#### 4.3 Población y muestra

##### **Población:**

La población se ha considerado la profundización de la Rampa Patrick IV.



### **Muestra:**

La muestra lo constituye los ensayos realizados en la rampa Patrick IV.

## **4.4 Procedimiento**

Una vez recopilados todos los datos en campo, se procede a trabajar de una manera secuencial, lo cual nos permite tener el orden estratégico para llevar a cabo el estudio. La información de las mediciones obtenidas con los sismógrafos se procesó en gabinete mediante software especializado y el programa Excel. Con lo cual se interpretó los resultados.

## **4.5 Técnica e instrumentos y materiales de Investigación**

Para poder realizar la investigación se realizaron trabajos de campo y gabinete

### a) Personal

- 02 personales capacitados en manipulación de equipos de monitoreo de vibraciones

### b) Equipos / herramientas / materiales.

- Sismógrafo Instantel Minimate Prov. 6.0
- Geófonos
- Cámara fotográfica
- Distanciómetro
- Barretilla
- Libreta de campo
- Laptop para procesamiento de datos en gabinete
- EPP

### **4.5.1 Capacitación al personal de la labor**

Para poder tener un buen resultado en la perforación y voladura se capacitó al personal en marcado de malla, factor de carga, control de paralelismo, uso de cañas para desacoplar la carga en la corona y el uso de detritos para poder optimizar el avance.

### **4.5.2 Monitoreo de vibraciones**

El monitoreo de vibraciones tiene como objetivo principal detectar y registrar el movimiento vibratorio de la voladura. Estas medidas describir de la mejor forma el evento “vibraciones”, para lo cual es necesario medir tres componentes ortogonales que definieron: amplitud, velocidad y aceleración de la partícula, en función del tiempo.



### 4.5.3 Criterios para el modelamiento de vibraciones

Generalmente las vibraciones excesivas del terreno, fueron causadas ya sea por colocar demasiada carga explosiva dentro del taladro o por el inapropiado diseño de voladura especialmente en lo referente a la secuencia de salida, detonando simultáneamente varios taladros ocasionaron daños al macizo rocoso.

Existen varios modelos que representan la velocidad de la partícula en función del explosivo utilizado y la distancia a que se registra dicha detonación, en términos de distancia escalar y cantidad de explosivo, el que más se usa es el criterio de DEVINE.

### 4.5.4 Análisis de voladura controlada y convencional en los taladros de corona

- Voladura controlada utilizando cañas

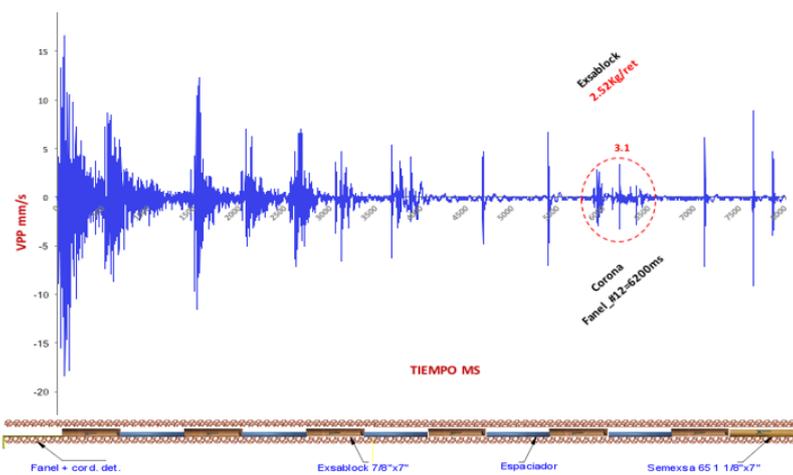


Figura 17 — Voladura controlada utilizando cañas

- Voladura no controlada

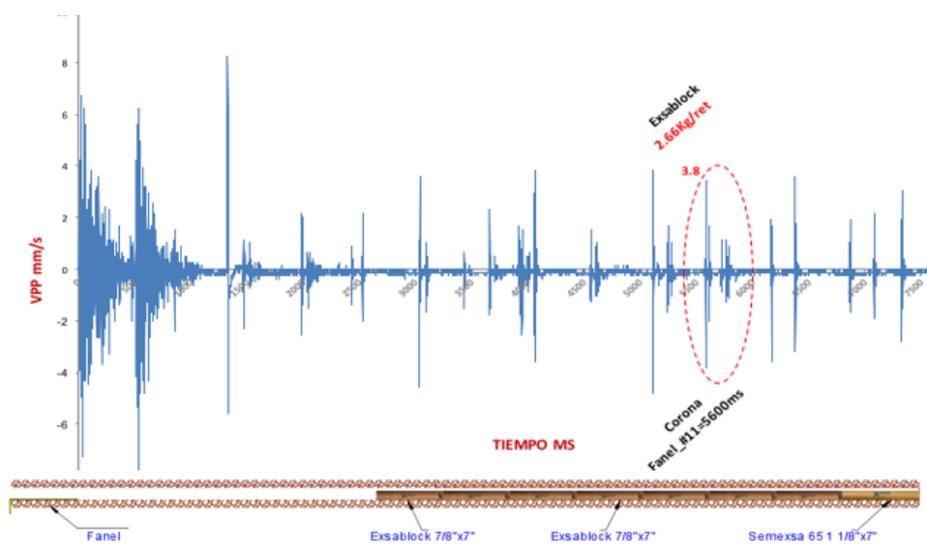


Figura 18 — Voladura no controlada

#### 4.6 Análisis estadístico

Se realiza el análisis de regresión aplicando el programa Excel mediante una representación gráfica por dispersión de la distancia escalada (De) en el eje X y los registros de VPP en el eje Y. A estos datos de la figura se le agregaron la línea de tendencia potencial y las opciones de representar la ecuación de ajuste.

$$VPPc = \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-\alpha} \quad \text{ley de atenuación de DEVINE}$$

Este método se aplicó para determinar los modelos predictivos de los explosivos en estudio con sus respectivos diseños de carga, a continuación, se desarrolló para determinar las constantes de velocidad (K) y atenuación ( $\alpha$ ) se puede determinar manualmente aplicando el análisis de regresión no lineal ajustado a una ecuación potencial haciendo uso del programa Excel que resulta más sencillo. Para los demás explosivos se determinan el modelo de vibraciones haciendo uso del programa Excel.

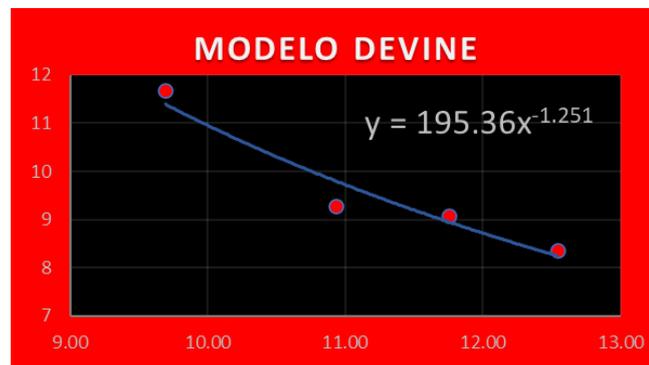


Figura 19 — Ley de atenuación de taladros periféricos

$$y = 195.36x^{-1.251} \quad \longrightarrow \quad VPP = 195.36\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1.251}$$

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **5.1 Data previa a los resultados**

##### **5.1.1 Descripción de los resultados**

Los trabajos se realizan con personal capacitado de turno, las tareas son mapeo del Macizo Rocos, trazado de la malla de Perforación in-situ con un adecuado Burden/espaciamiento (pintado de malla), control de paralelismo durante la perforación, disminuyendo la carga operante en la corona, uso de espaciadores y cañas para controlar la corona, controlar la longitud de perforación, y uso de los detritos.

##### **5.1.2 Sobrerotura de la voladura en la Rampa Patrick IV antes de la investigación**

La Compañía Minera Marsa SA, ha estado trabajando con estándares en el proceso de perforación y voladura no óptimos para el tipo de Roca; logrando resultados por debajo de sus objetivos planteados en la actualidad; Por ende, los KPI en el mes de septiembre 2019 muestran valores que se deben optimizar.

Tabla 5 — Resultados de voladura de la Rampa Patrick antes de la investigación

RESULTADOS DE VOLADURA MINERA MARSА RP-PATRICK IV SECCION 4X4m - SEPTIEMBRE-2019																	
Nº DISPAROS OBJETIVO	FECHA	NIVEL	Nº TAL. PRODUC. C.	Nº TAL. DE ALIVIO (A+C)	LONGITUD DE TALADRO (m.)	AVANCE	EXPLOSIVOS			TOTAL EXPLOSIVOS (KG.)	RESULTADOS					SECCION REAL (M2)	SOBRE ROTURA (%)
							DINAMITA ESPECIAL 75 (1 1/8"x8")	SEMEXSA 65 (1 1/8"x7")	EXSABLOCK (7/8"x7")		% DE AVANCE	VOLUMEN ROTO (M3)	TONELAJE ROTO (TM)	f.c. (kg./m3)	f.c.l. (Kg./m.l.)		
						3.80								1.27	25		10%
Nº 1	12/09/2019	2220	39	9	3.80	3.65	300	280	30	88.54	96.05	68.39	184.65	1.29	24.3	18.74	17.1%
Nº 2	14/09/2019	2220	40	9	3.80	3.50	300	280	30	88.54	92.11	66.52	179.62	1.33	25.3	19.01	18.8%
Nº 3	16/09/2019	2220	41	8	3.80	3.65	280	250	30	81.39	96.05	71.83	193.95	1.13	22.3	19.68	23.0%
Nº 4	18/09/2019	2220	41	4	3.80	3.72	280	300	35	87.88	97.89	70.55	190.49	1.25	23.6	18.97	18.5%
Nº 5	19/09/2019	2220	40	8	3.80	3.65	280	310	35	89.10	96.05	69.86	188.63	1.28	24.4	19.14	19.6%
Nº 6	21/09/2019	2220	39	8	3.80	3.60	280	290	35	86.65	94.74	69.22	186.90	1.25	24.1	19.23	20.2%
Nº 7	22/09/2019	2220	40	6	3.80	3.53	300	280	30	88.54	92.89	67.01	180.93	1.32	25.1	18.98	18.6%
Nº 8	23/09/2019	2220	40	8	3.85	3.55	280	280	30	85.07	92.21	69.33	187.20	1.23	24.0	19.53	22.1%
Nº 9	24/09/2019	2220	39	9	3.85	3.60	280	280	30	85.07	93.51	68.13	183.94	1.25	23.6	18.92	18.3%
Nº 10	25/09/2019	2220	40	9	3.80	3.72	200	300	30	73.63	97.89	71.01	191.74	1.04	19.8	19.09	19.3%
PROMEDIO						3.62	RESULTADOS PROMEDIOS				95.63	69.43		1.26	23.98		19.6%

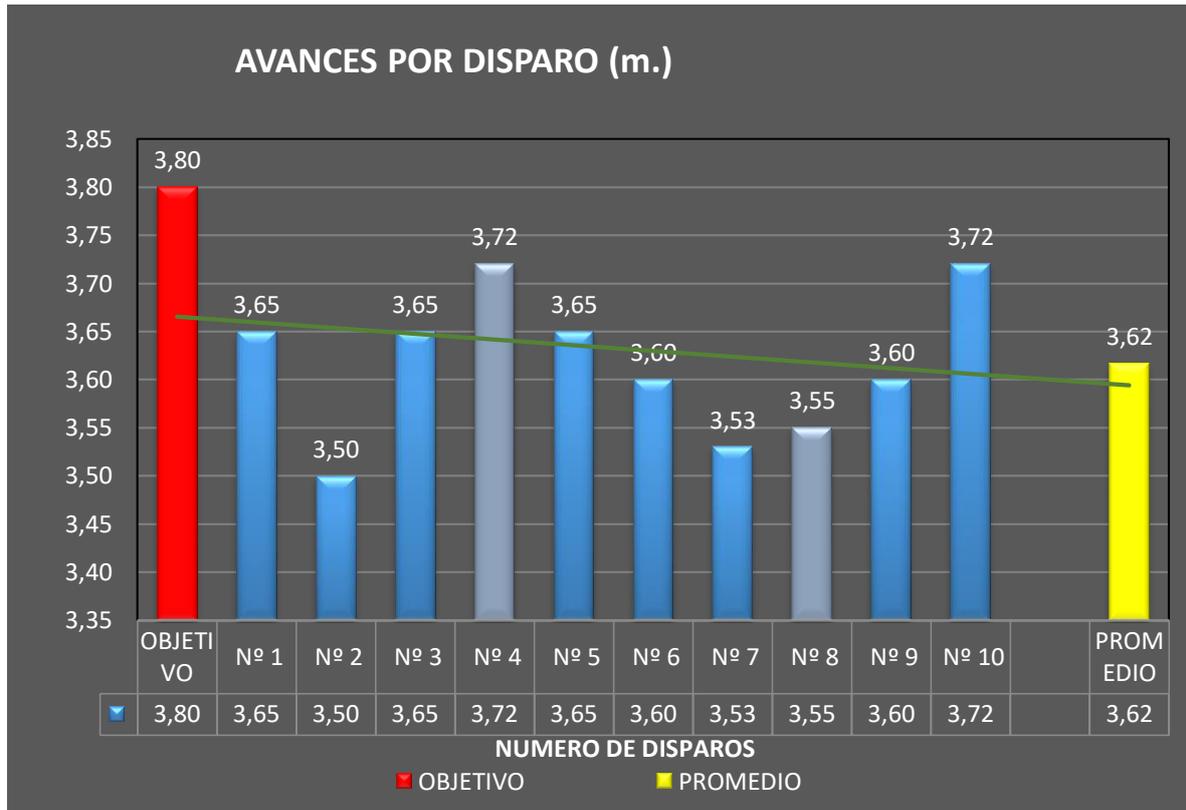


Figura 20 — Eficiencia de avance de la Rampa Patrick IV en metros /disparo

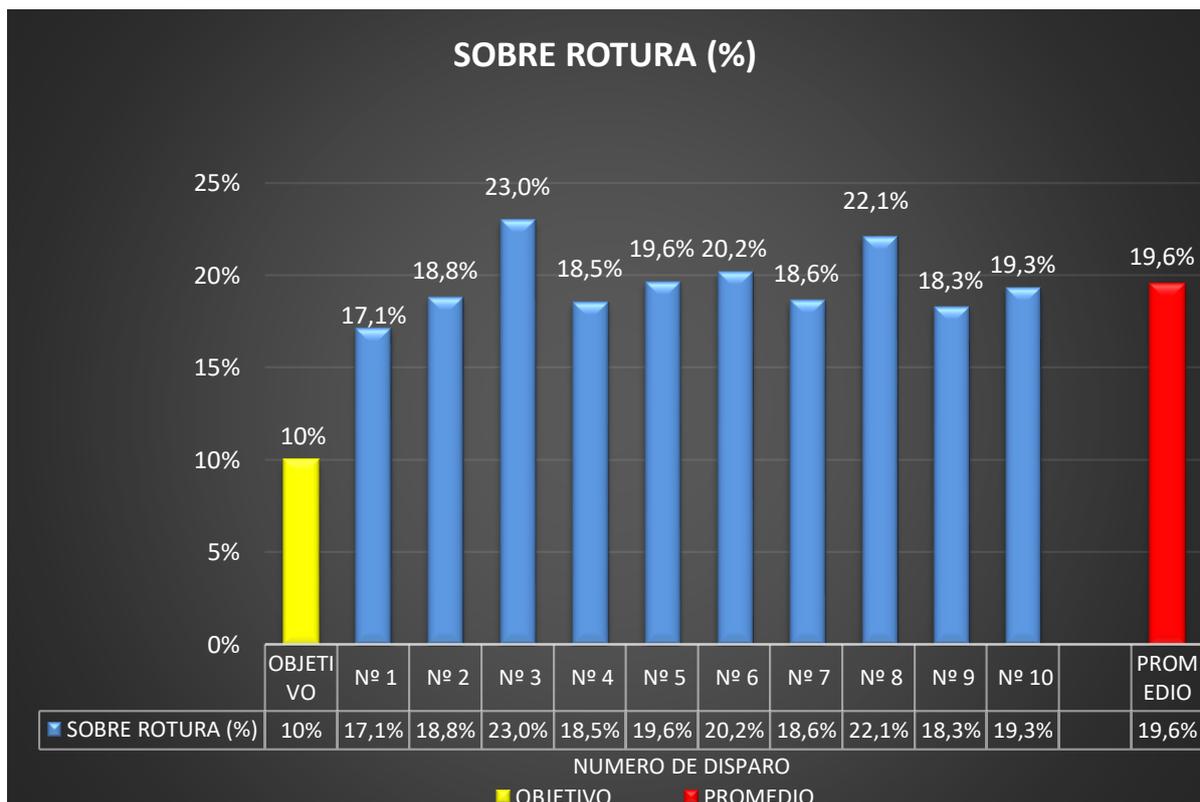


Figura 21 — % de Sobrerotura de la Rampa Patrick IV



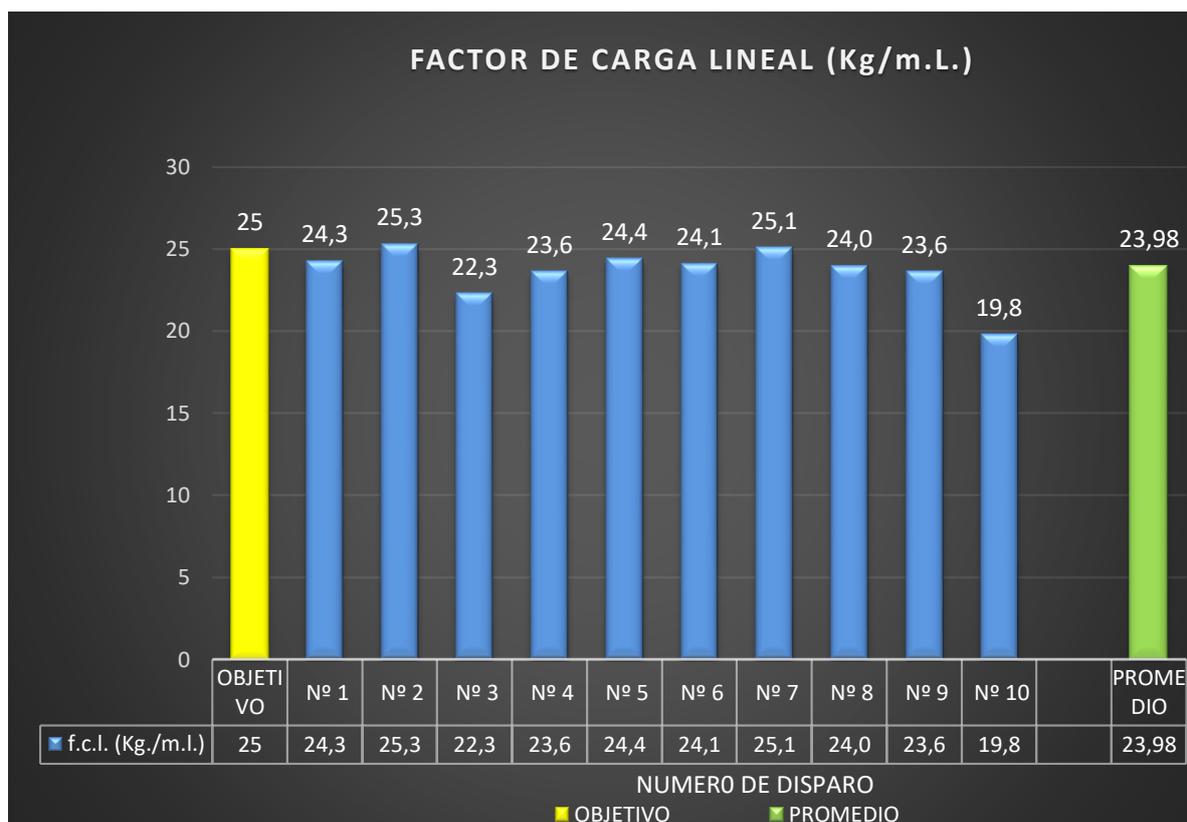


Figura 22 — Factor de carga lineal de la Rampa Patrick IV - (Kg/m.l.)

### 5.1.3 Parámetros de perforación y voladura

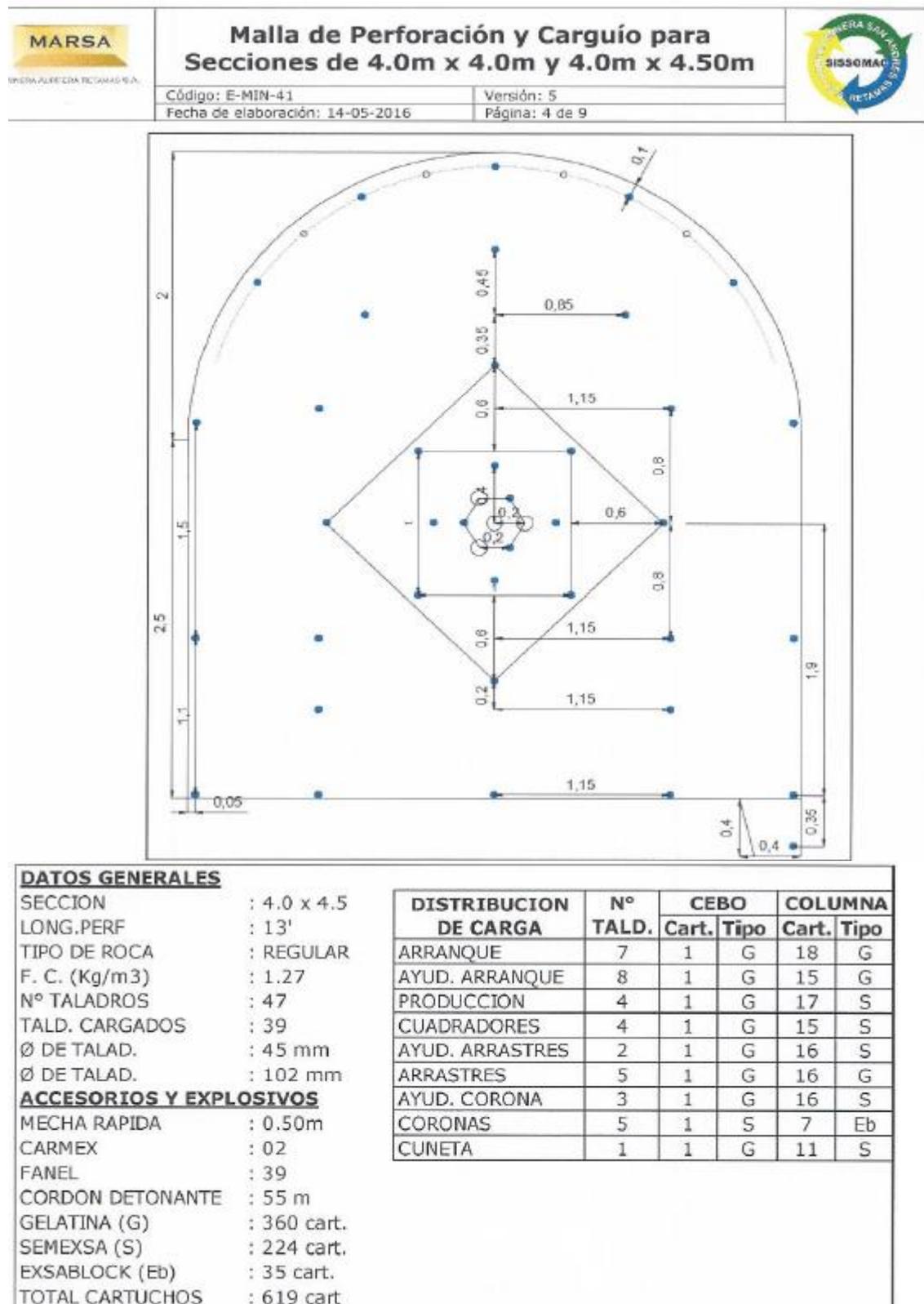


Figura 23 — Malla de perforación MARSÁ

Extraído de MARSÁ S.A



## 5.2 Data durante y después de la investigación

### 5.2.1 Estándares planteados

Se han replantado la malla de perforación, uso de guidores de perforación, cañas y/o espaciadores y uso de detritos para optimizar la perforación y voladura.

### 5.2.2 Seguimiento y mejora en el proceso de perforación y voladura

Se detectaron oportunidades de mejora en el proceso de perforación y voladura, en las cuales se trabajó en compañía de la supervisión de la contrata Tauro. Los cambios realizados tuvieron como objetivo establecer diseños que permitan mejorar los índices actuales de perforación y voladura.

- a. En la perforación anteriormente el marcado de malla solo contempla el pintado de la gradiente, dirección y sección, dejando de lado el cuadrículado el cual es importante para evitar errores en el emboquillado y obtener la simetría de los taladros. Esta mala práctica fue corregida con la malla de perforación propuesta en donde se mostró el marcado de malla al personal de la labor.

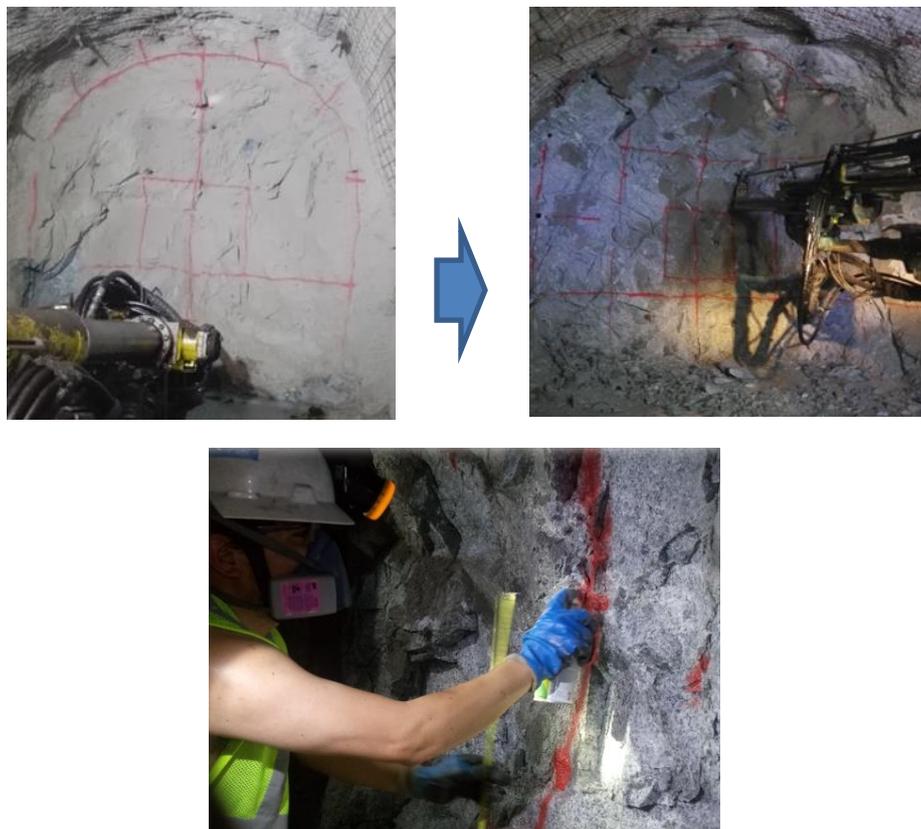
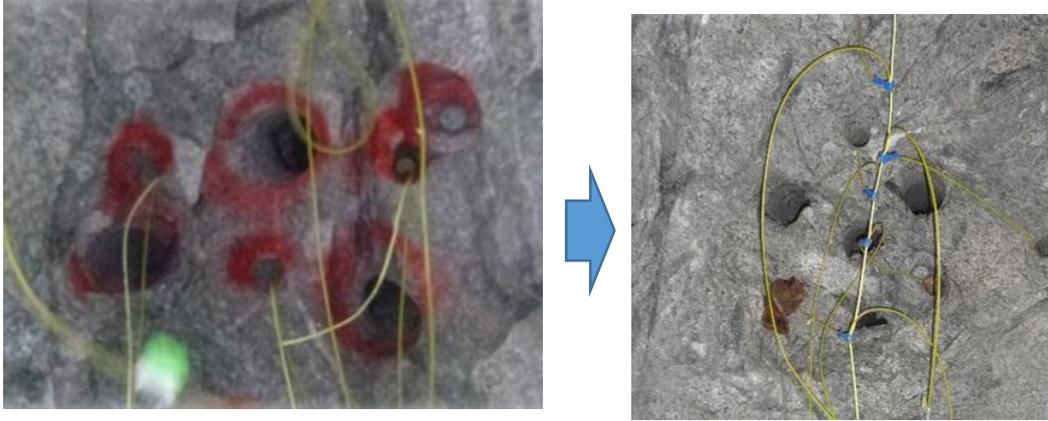


Figura 24 — Seguimiento y capacitación en el marcado de la malla de perforación

- b. Se cambió el arranque encontrado (3 rimados) por el arranque hexagonal (4 rimados) puesto que la geometría de su diseño garantiza alto rango de seguridad ante cualquier posibilidad de falla por paralelismo, sincronización; reduciendo el nivel de vibraciones porque la energía del explosivo es aprovechada para fracturamiento en vez de vibración.



**Figura 25 — Seguimiento Cambio en la distribución de taladros en el arranque (hexagonal)**

- c. En la perforación es de vital importancia el empleo de guidores para evitar la desviación angular de los taladros, práctica que no es usual pero que se corrigió en su momento para llegar a hacer uso de 2 guidores para evitar la falta de paralelismo



**Figura 26 — Seguimiento al uso de guidores**

- d. Se ha implementado tuberías de PVC para poder desacoplar axialmente la carga explosiva en el taladro con el fin de reducir la presión de detonación y poder así obtener un contorno bien definido reduciendo la sobrerotura.

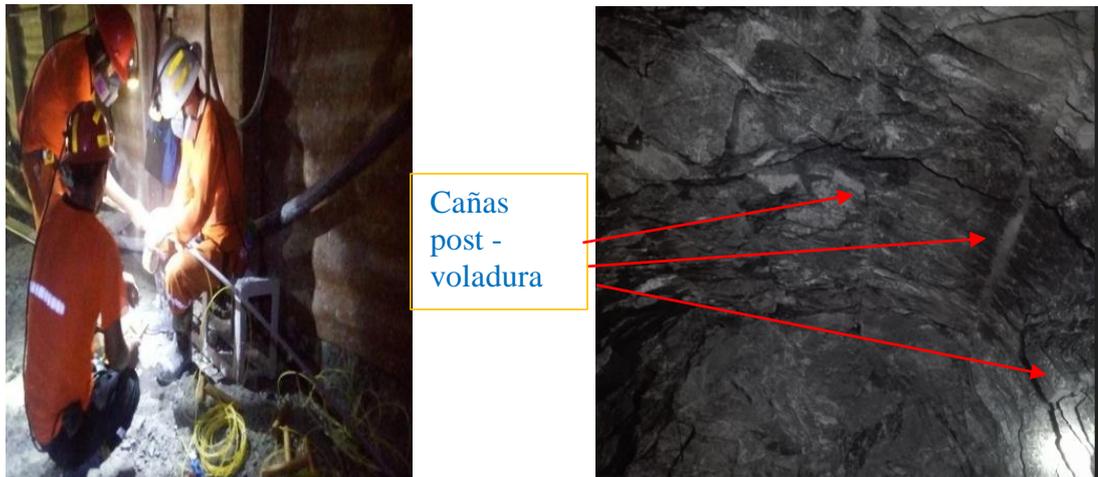


Figura 27 — Uso de cañas, resultado de voladura

### 5.2.3 Resultados de la voladura

Se muestra a continuación el resultado de las voladuras con la aplicación de los parámetros actuales de perforación y voladura y los indicadores obtenidos mediante la optimización del diseño de malla de perforación:

Tabla 6 — Resultados de voladura de la Rampa Patrick después de la investigación

PERFORACION CON JUMBO			N° DE RETARDO POR TALADRO	KG. DE EXPLOSIVOT OTAL	CARGA OPERANTE (Kg)
TIPO DE TALADRO	Descripción	N° Tal.			
ALIVIO	Alivio (Rimados)	4		0	0
TAL. DE CORTE	Taladros de corte	4		0	0
ARANQUE	Arranque 1	1	1	2.768	2.768
	Arranque 2	1	2	2.768	2.768
	Arranque 3	1	3	2.768	2.768
1° AYUDA	Ayudas 1 (Sup)	1	4	2.768	5.536
	Ayudas 1 (Inf)	1	4	2.768	
	Ayudas 1 (Der)	1	5	2.768	5.536
	Ayudas 4 (Izq)	1	5	2.768	
2° AYUDA	2° Ayuda 1	1	6	2.768	5.536
	2° Ayuda 2	1	6	2.768	
	2° Ayuda 3	1	7	2.768	5.536
	2° Ayuda 4	1	7	2.768	
PRODUCCION	Produccion 1	1	8	1.785	10.71
	Produccion 2	1	8	1.785	
	Produccion 3	1	8	1.785	
	Produccion 4	1	9	1.785	
	Produccion 5	1	9	1.785	
	Produccion 6	1	9	1.785	
AYUDA DE CORONA	Ayuda de corona 1	1	10	1.785	7.14
	Ayuda de corona 2	1	10	1.785	
	Ayuda de corona 3	1	10	1.785	
	Ayuda de corona 4	1	10	1.785	
CUADRADORES	Cuadrador 1	1	11	1.612	9.672
	Cuadrador 2	1	11	1.612	
	Cuadrador 3	1	11	1.612	
	Cuadrador 4	1	11	1.612	
	Cuadrador 5	1	11	1.612	
	Cuadrador 6	1	11	1.612	
CORONA	Corona 1	1	12	0.556	2.78
	Corona 2	1	12	0.556	
	Corona 3	1	12	0.556	
	Corona 4	1	12	0.556	
	Corona 5	1	12	0.556	
AYUDA DE ARRASTRE	Ay. De Arrastre 1	1	8	1.785	5.355
	Ay. De Arrastre 2	1	8	1.785	
	Ay. De Arrastre 3	1	9	1.785	
ARRASTRE	Arrastre 1	1	14	2.768	13.840
	Arrastre 2	1	14	2.768	
	Arrastre 3	1	14	2.768	
	Arrastre 4	1	15	2.768	
	Arrastre 5	1	15	2.768	
TOTAL		48	40	79.945	79.945

Tabla 7 — Resultados con el replanteo de malla y diseño de carga

RESULTADOS DE VOLADURA MINERA MARSÁ RP-PATRICK IV ( 4 X 4.5 )m - ENERO-2020																	
Nº DISPAROS	FECHA	SECCION PROS. LABOR (m2)	Nº TAL. PRODUC. C.	Nº TAL. DE ALIVIO (A+C)	LONGITUD DE TALADRO (m.)	AVANCE	EXPLOSIVOS			TOTAL EXPLOSIVOS (KG.)	RESULTADOS						
							DINAMITA ESPECIAL 75 (1 1/8"x8")	SEMEKSA 65 (1 1/8"x7")	EXSABLOCK (7/8"x7")		% DE AVANCE	VOLUMEN ROTO (M3)	TONELAJE ROTO (TM)	f.c. (kg./m3)	f.c.l. (Kg./m.l.)	SECCION REAL (M2)	SOBRE ROTURA (%)
		OBJETIVO				3.80							1.27	25		10%	
Disparo Nº 1	12/01/2020	18.00	40	8	3.80	3.76	269	252	30	79.73	98.95	74.00	199.79	1.08	21.20	19.68	9.33%
Disparo Nº 2	14/01/2020	18.00	38	4	3.80	3.76	263	270	30	81.45	98.95	74.77	201.87	1.09	21.66	19.89	10.47%
Disparo Nº 3	16/01/2020	18.00	38	8	3.80	3.79	258	280	30	81.81	99.74	73.97	199.71	1.11	21.58	19.52	8.42%
PROMEDIO						3.77	RESULTADOS PROMEDIOS			99.21	74.24	1.09	21.48			9.41%	

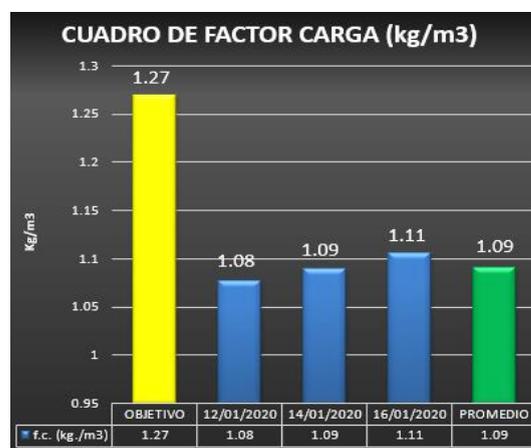
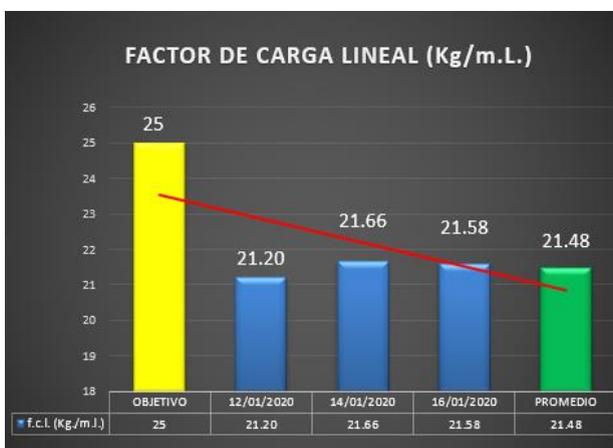
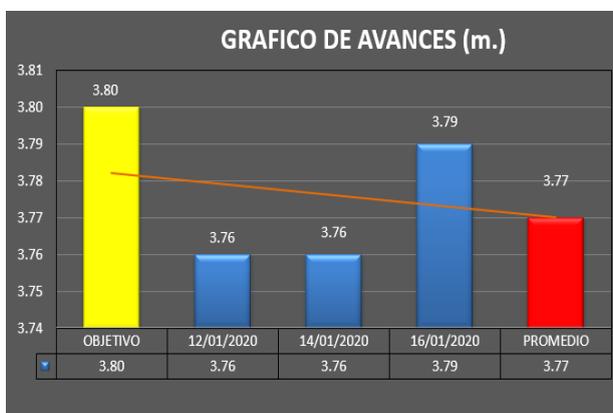
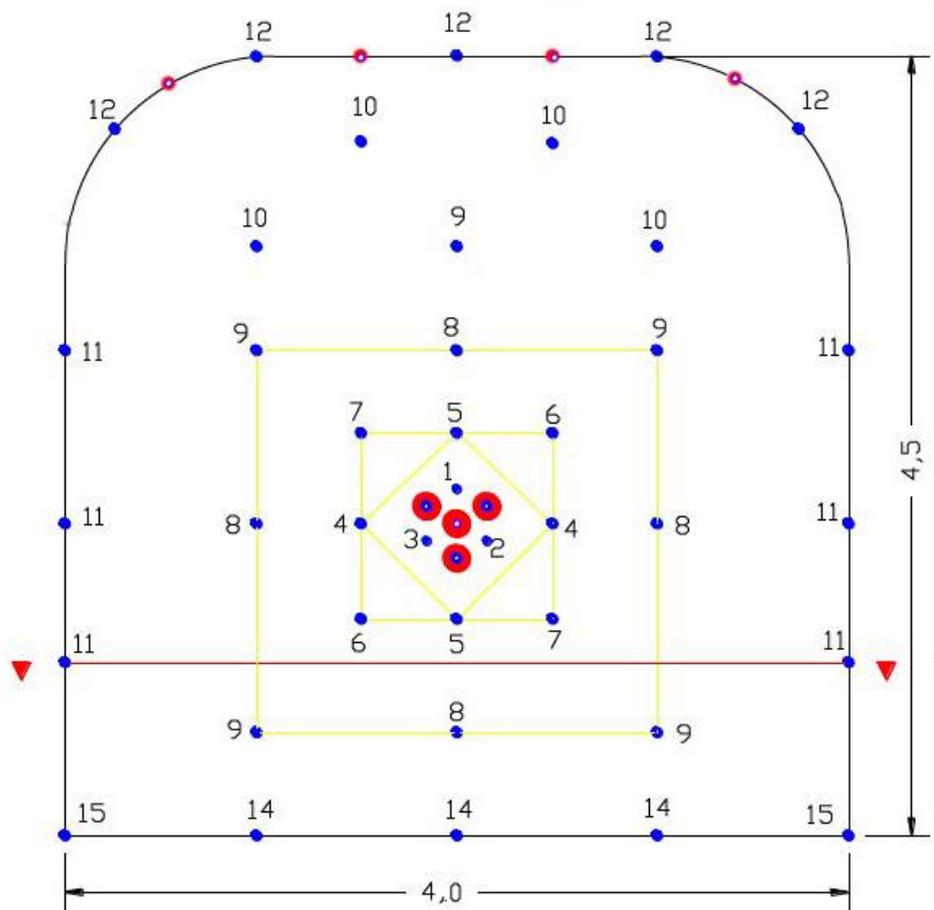


Figura 28 — Resultados de la voladura

### 5.2.4 Malla de perforación replanteada para la Rampa Patrick IV

Malla de perforación Rampa Patrick IV sección 4 x 4 m – RMR = 40



N° FANEL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	TOTAL
CANTIDAD	1	1	1	2	2	2	2	4	5	5	6	5	3	2	40

Secuen. salida	Dist. De Taladros	Taladros		Cart/Tal	COLUMNA CARGADA				KG DE EXPLOSIVO				
		Car	Vac		CEBO	GELATINA 1 1/8 X 8"	SEMEXA 65% 1 1/8 X 7"	EXSABLOC K 7/8 X 7"	KG GELATINA	KG SEMEXSA	KG EXABLOCK	TOTAL KG	
1,2,3	ARRANQUE	3	8	16	G	48				8.304	0	0	8.304
4,5	AYUDA 1	4		16	G	64				11.072	0	0	11.072
6,7	AYUDA 2	4		16	G	64				11.072	0	0	11.072
8,9	PRODUCCION	6		14	G	6	78			1.038	9.672	0	10.71
8,9	AYU.ARRASTRE	3		14	G	3	39			0.519	4.836	0	5.355
11	CUADRADORES	6		13	G		78			0	9.672	0	9.672
10	AYU. CORONA	4		13	G	4	52			0.692	6.448	0	7.14
12	CORONA	5		7	S		5	30		0	0.62	2.16	2.78
14,15	ARRASTRE	5		16	G	80				13.84	0	0	13.84
<b>TOTAL</b>		<b>40</b>	<b>8</b>			<b>269</b>	<b>252</b>	<b>30</b>		<b>46.537</b>	<b>31.248</b>	<b>2.16</b>	<b>79.945</b>

Figura 29 — Malla de perforación



### 5.2.5 Evaluación geomecánica la Rampa Patrick IV

En la zona de perforación y voladura de la Rampa Patrick, se ha obtenido los siguientes datos geomecánico:

- Tipo de roca: pórfido/tonalita.
- RMR (Rock Mass Rating): 40
- $\delta c$  ROCA (resistencia a la compresión): 38.3 MPa

Tabla 8 — Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

TIPO MACISO ROCOSO	CLASE	COLOR	R.M. R	ALGUNAS CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO
BUENA	II	VERDE	61 - 80	Roca dura con muy pocas fracturas y ligera alteración. Humedad en algunos casos
REGULAR-A	III - A	VERDE CLARO	51 - 60	Roca medianamente dura, con regular cantidad de fracturas, ligeramente alterada, húmeda.
REGULAR-B	III - B	AMARILLO	41 - 50	Roca medianamente dura, con regular cantidad de fracturas, con presencia de algunas fallas menores, ligera a moderada alteración, húmeda - mojado.
MALA- A	IV - A	ANARANJADO	31- 40	Roca suave muy fracturada, con algunas fallas panizadas de moderada a fuerte alteración, con goteos en fracturas y fallas
MALA- B	IV - B	ROJO	21 - 30	Roca suave muy fracturada, con múltiples fallas panizadas fuertemente alterada, con goteo o flujo constante de agua.
MUY MALA	V	MARRON	< 20	Roca muy suave intensamente fracturada, fallada y alterada con flujo continuo de agua.

Extraído de área de geomecánica MARSA. SAC



### 5.3 Monitoreo de vibraciones la Rampa Patrick IV

Se efectuó una campaña de monitoreo de vibraciones en los frentes mencionados, A partir de los datos registrados obtendremos el modelo o ecuación general del comportamiento de la velocidad de partícula en función del tipo de explosivo utilizado, tipo de roca y la distancia de la voladura. El modelamiento de vibraciones nos permite predecir el daño en el entorno inmediato de la voladura.

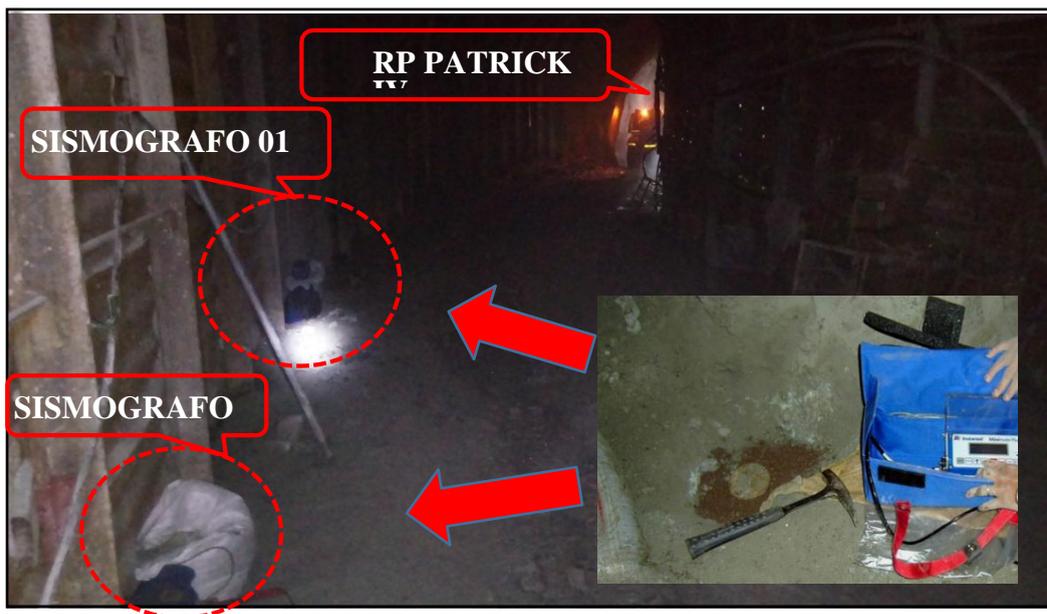


Figura 30 — ubicación de los sismógrafos en la Rampa Patrick IV

#### 5.3.1 Datos de campo

Tabla 9 — Data de campo Rampa Patrick IV

RP PATRICK IV ZONA VALERIA IV (4 X 4.5)	
1. Roca	Pórfido/Tonalita
2.RMR	40
3. $\delta_c$ ROCA	38.3 Mpa
4. Monitoreo 1(12/01/21)	Distancia de 30.1
5. Monitoreo 2(12/01/21)	Distancia de 34
6. Monitoreo 3(14/01/21)	Distancia de 36.5
7. Monitoreo 4(14/01/21)	Distancia de 39

Tabla 10 — Rendimiento referencial Rampa Patrick IV

Rendimientos	Unidad	Valor
Factor de carga	Kg/m <sup>3</sup>	1.07
Factor de caga lineal	Kg/ml	24.08
Sobrerotura	%	11.31

### 5.3.2 Cálculo de la curva de atenuación

#### a) Cálculo de GSI (Índice de Resistencia Geológica)

$$GSI = RMR - 5$$

Reemplazando entonces se tiene:

$$GSI = 40 - 5 = 35$$

#### b) Cálculo de índice de calidad de la masa rocosa Q:

El índice Q (Nick Barton) se determina a partir de la relación logarítmica que establece **Bieniawsky 1989** en función del RMR, para luego determinar el valor con la formula despejada. El valor nos ayuda a estimar la velocidad de Propagación de onda que es el objetivo de caracterización de la masa rocosa en este estudio.

$$RMR = 9Ln Q - 44$$

$$Q = e^{(RMR-44)/9}$$

$$Q = e^{(40-44)/9}$$

$$Q = 0.64$$

#### c) Cálculo de la velocidad crítica de la partícula:

$$VPPc = \frac{\sigma t * Vp}{E}$$

La velocidad de propagación de la onda P (Vp):

$$Vp = (1000 * LogQ) + 3500$$

Entonces:  $Vp = (1000 * Log0.64) + 3500$

$$Vp = 3306.18 \text{ mm/s}$$

- Cálculo del módulo de la deformación de la masa rocosa:

$$Emr = 10000 * \left[ \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\left(\frac{75+25*D-GSI}{11}\right)}} \right]$$

Donde:

D = 0 Sin daño

D = 0.5 Daño moderado

D = 1.0 Daño severo

Para nuestro cálculo se consideró “D” con un valor de 0, puesto que el análisis se realiza suponiendo que no hubiera daños considerables por voladura durante la excavación.

$$Emr = 10000 * \left[ \frac{1 - \frac{0}{2}}{1 + e^{\left(\frac{75+25*0-35}{11}\right)}} \right]$$

$$Emr = 2567.16 \text{ Mpa}$$

- Relación de módulo de Hoek and Diederichs:

$$\frac{Emr}{Ei} = \left[ 0.02 * \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\left(\frac{75+25*D-35}{11}\right)}} \right]$$

$$\frac{Emr}{Ei} = \left[ 0.02 * \frac{1 - \frac{0}{2}}{1 + e^{\left(\frac{75+25*0-35}{11}\right)}} \right]$$

$$\frac{Emr}{Ei} = 0.11341$$

- Módulo de la roca intacta – Modulo de Young

$$Ei = \frac{Emr}{0.11341}$$

$$Ei = 22634.1 \text{ Mpa} = 22.6 \text{ Gpa}$$

Entonces remplazamos en la ecuación de la VPPc:

$$VPPc = \frac{\sigma t * Vp}{Ei}$$

$$VPPc = 559.83 = 560 \text{ mm/s}$$



### 5.3.3 Criterios de daño

#### 5.3.3.1 Análisis estadístico aplicando Excel

Tabla 11— Criterio de daño según Cameron Mckemie

CRITERIO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO	Vpp critico
Mayor 4 * PPV critico	Intenso fracturamiento	2239.30
Mayor 1 * PPV critico	Creación de nuevas fracturas	<b>559.83</b>
Mayor 1 / 4 * PPV critico	Leve propagación fracturas preexistentes	139.96

#### 5.3.3.2 Ensayo en los Cuadradores

Análisis de daño en hastial, el resultado de las pruebas en los hastiales se observa en la tabla 13.

Tabla 12 — Pruebas en los Hastiales

CUADRADORES					
REGISTRO N°	VPS (mm/s)	D (m)	W (Kg)	De = $D/W^{(1/2)}$	VPP (mm/s)
1	11.68	30.14	9.67	9.69	11.68
2	9.28	34	9.67	10.93	9.28
3	9.08	36.55	9.67	11.75	9.08
4	8.37	39	9.67	12.54	8.37

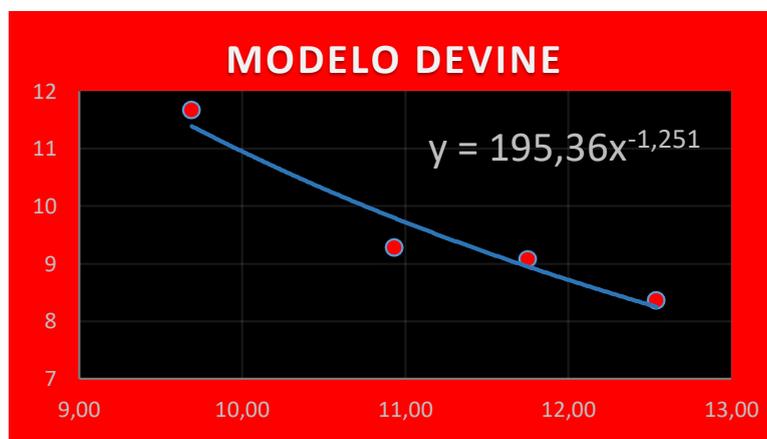


Figura 31 — Curva de atenuación en el hastial

Tabla 13 — Resumen de los resultados de las pruebas en el Hastial

CUADRADORES					
PARAMETROS DE LA LEY DE ATENUACION		CRITERIOS DE DAÑO	TIPO DE DAÑO	VIBRACION CRITICA	$d = \left(\frac{VPPc}{k}\right)^{\left(\frac{1}{-\alpha}\right)} \times \sqrt{W}$
K	195.36	4*VPP crit	Intenso Fracturamiento	2239.3	0.443
$\alpha$	-1.251	1*VPP crit	Creación nuevas fracturas	559.83	1.341
W (KG)	2.78	1/4*VPP crit	Leve Fracturamiento	139.96	4.060

### 5.3.3.3 Resulta de los Ensayos en los Cuadradores

Con la cantidad de explosivo utilizado (SEMEXA 65% 1 1/8X7"), usado en los cuadradores, siendo el peso de la carga operante 9.67 kg, se ha generado un intenso fracturamiento a 44 cm del contorno de los taladros, creación de nuevas fracturas a 1.34 m y una leve fractura miento hasta de 4.06 m.

### 5.3.3.4 Ensayo en la Corona

Análisis de daño en la corona, el resultado de las pruebas en la corona se observa en la tabla 16.

Tabla 14 — Pruebas en la corona

CORONA					
REGISTRO N°	VPS (mm/s)	D (m)	W (Kg)	De = $D/W^{(1/2)}$	VPP (mm/s)
1	7	30.14	2.78	18.08	7
2	6.52	34	2.78	20.39	6.52
3	6	36.55	2.78	21.92	6
4	5.3	39	2.78	23.39	5.3

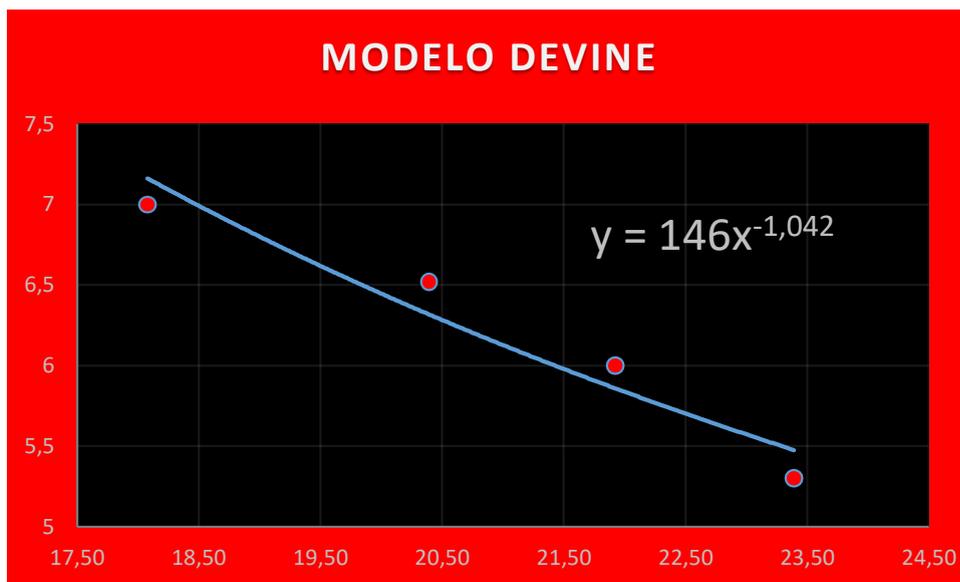


Figura 32 — Curva de atenuación en la corona

Tabla 15 — Resumen de los resultados de las pruebas en la Corona

CORONA					
PARAMETROS DE LA LEY DE ATENUACION		CRITERIOS DE DAÑO	TIPO DE DAÑO	VIBRACION CRITICA	$d = \left(\frac{VPPc}{k}\right)^{\frac{1}{-\alpha}} \times \sqrt{w}$
K	146	4*VPP critica	Intenso Fracturamiento	2239.3	0.121
$\alpha$	-1.042	1*VPP critica	Creación nuevas fracturas	559.83	0.459
W (KG)	2.78	1/4*VPP critica	Leve Fracturamiento	139.96	1.736

### 5.3.3.5 Resulta de los Ensayo en la Corona

Con la cantidad de explosivo utilizado (EXSABLOCK 7/8 x 7"), donde se realizó el carguío de los taladros con una caña espaciados a 0.40 cm, siendo el peso de la carga operante 2.78 kg, se ha generado un intenso fracturamiento a 12 cm del contorno de los taladros, creación de nuevas fracturas a 45 cm y un leve fracturamiento hasta de 1.73 m.

### 5.3.3.6 Resumen de los resultados de la investigación

Los trabajos realizados en la apertura de la Rampa Patrick III a la IV de la Minera Marsa se resumen en los siguientes Puntos.

- 1.- AVANCE. Según el KPI se logra el 3.77 ml, optimizando al promedio anterior en el avance realizado en la Rampa Patrick III a la IV de la Minera Marsa, como se indica en el cuadro siguiente.

Tabla 16 — Resumen de Resultados de los índices de Perforación y Voladura

	RESULTADOS			SOBRE ROTURA (%)
	AVANCE	f.c. (kg./m3)	f.c.l. (Kg./m.l.)	
Objetivo	3.8	1.27	25.00	10.00%
Promerío Aterior	3.62	1.26	23.98	19.60%
Promerío Actual	3.77	1.09	21.48	9.41%

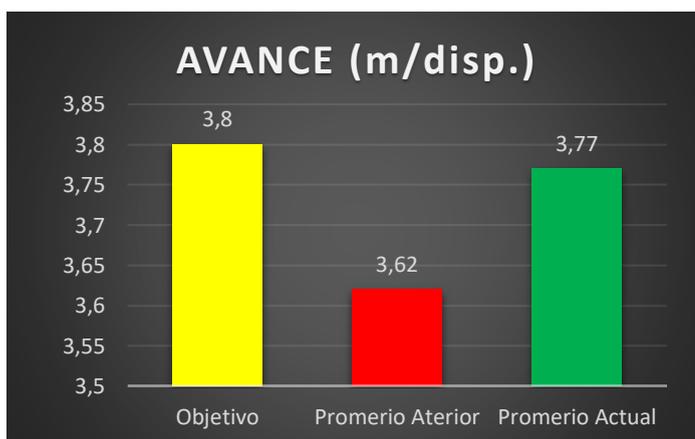


Figura 33 — Gráfico de avance

- 2.- FACTOR DE CARGA. Según el KPI se logra obtener 21.48 kg/ml, en comparación al objetivo planteado por la Minera Marza, en el avance realizado en la Rampa Patrick III a la IV de la Minera Marsa, como se indica en el cuadro siguiente.

Tabla 17 — Resumen de Resultados de los Índices de Perforación y Voladura

	RESULTADOS			SOBRE ROTURA (%)
	AVANCE	f.c. (kg./m3)	f.c.l. (Kg./m.l.)	
Objetivo	3.8	1.27	25.00	10.00%
Promerío Aterior	3.62	1.26	23.98	19.60%
Promerío Actual	3.77	1.09	21.48	9.41%



Figura 34 — Grafico de Factor de Carga Lineal

3.- SOBRE ROTURA. Según el KPI se logra obtener un 9.41%, aproximando al objetivo planteado por la Minera Marza, en el avance realizado en la Rampa Patrick III a la IV de la Minera Marsa, como se indica en el cuadro siguiente.

Tabla 18 — Resumen de Resultados de los Índices de Perforación y Voladura

	RESULTADOS			SOBRE ROTURA (%)
	AVANCE	f.c. (kg./m3)	f.c.l. (Kg./m.l.)	
Objetivo	3.8	1.27	25.00	10.00%
Promerío Aterior	3.62	1.26	23.98	19.60%
Promerío Actual	3.77	1.09	21.48	9.41%



Figura 35 — Grafico de factor de carga en Kg /m³

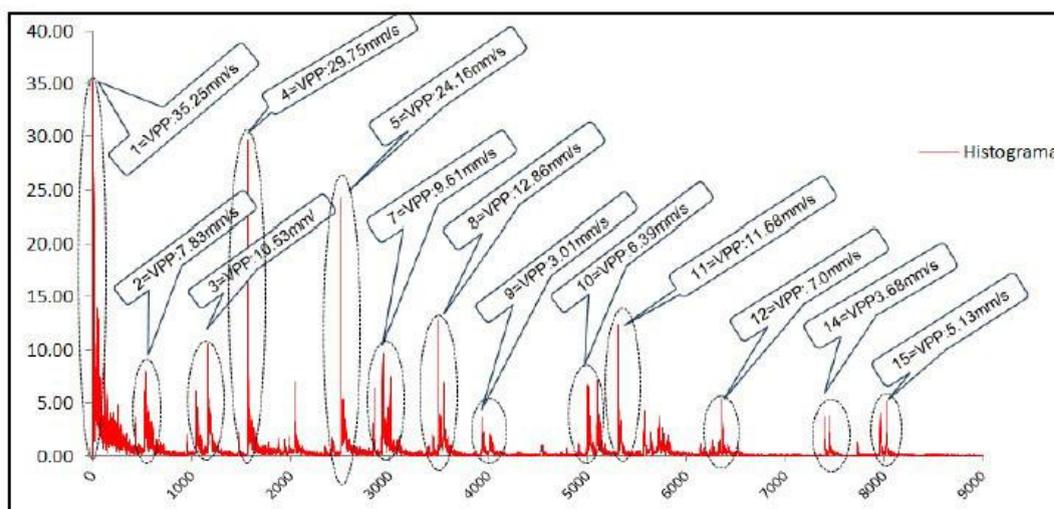


Figura 36 — Monitoreo 1

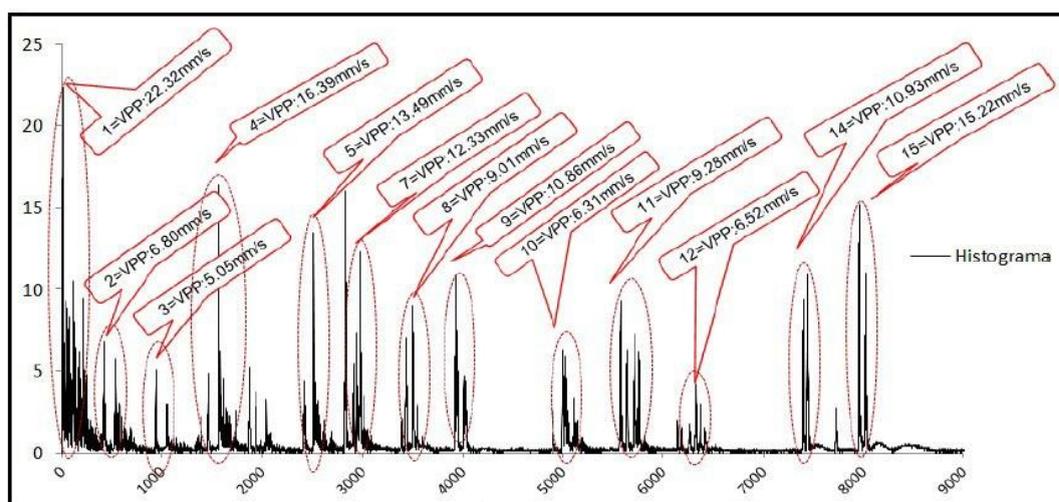


Figura 37 — Monitoreo II

De los monitoreos realizados podemos obtener de la gráfica de sismogramas así mismo podemos calcular las velocidades pico por retardo, para efectos de cálculo se obtuvieron del registro N°1 una velocidad pico en hastial de 11.68 mm/s con un retardo fanel N°11 (5600ms), una velocidad pico en corona de 7 mm/s con un retardo fanel N°12 (6200ms) con una carga operante de 9.87 kg y 5.17 kg respectivamente.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- 1.-La malla de perforación y voladura propuesta permite reducir el consumo de explosivos ya que se logró reducir el factor de carga y el factor de potencia.
- 2.-La malla de perforación y voladura propuesta no permite reducir la sobrerotura
- 3.-Es necesario del monitoreo de la voladura en forma permanente, para medir el consumo de explosivos y los daños colaterales.
- 4.-Queda pendiente la reducción de la sobrerotura.

#### 6.2 Recomendaciones

- 1.-Aplicar la malla propuesta para continuar con el ahorro de explosivos, mantener constante el Factor de carga (Fc) y el factor de potencia (Fp).
- 2.-Emplear voladura de corte para optimizar la reducción de la sobrerotura.
- 3.- Los monitoreos de las voladuras mediante sismógrafos se deben realizar en los tramos de acuerdo al cambio de RMR.
- 4.-Aplicar la voladura de recorte para reducir la sobre rotura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ADOSLAVA, I. (2015).** Investigation on Fragmentation by Blasting. The influence of distorted blast hole patterns on fragmentation, roughness of the remaining bench face and blast damage behind diting model scale blasting.

**AMES LARA, V. A. (2008).** Perforación y Voladura de rocas. Lima-Perú: UNT (Universidad Nacional de Trujillo). Recuperado el 2 de mayo de 2021, de file:///C:/Users/HP/Downloads/Perforacion%20y%20Voladura.pdf

**BERNAOLA ALONSO, J., CASTILLO GÓMEZ, J., & HERRERA HERBERT, J. (2013).** Perforación y voladura de rocas en minería. Madrid España: Laboratorio de tecnologías Mineras.

**CASTREJÓN LÓPEZ, I. r., & RODRÍGUEZ MARQUINA, J. F. (2018).** Influencia del sistema de ventilación en la rampa Patrick-profundización entre los Niveles 2470-2240 en una mina subterránea en Patáz -La libertad 2018. Trujillo: UPN.

**CONDORI CONDORI, R. A. (2013).** Reducción de costos mediante la optimización de planeamiento a corto plazo en la unidad minera Pampa Cobre. Arequipa Perú: UNSA (Universidad Nacional San Agustín de Arequipa).

**DE LA CRUZ COLOS, M. (2020).** Evaluación de los parámetros de perforación y voladura que inciden sobre excavación del by pass 2724 unidad Minera Parcoy- Consorcio minero Horizonte SA Parcoy. Ayacucho -Perú: UNSCH (Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga).

**DIAZ OLIVERA, E. E. (2016).** Optimización de la perforación y voladura para maximizar utilidades en la Mina Panulcillo de Minera Cruz Ltda-2016. Huaraz-Perú: UNSAM.

**DICK, R., FLETCHER, L., & ANDREA, D. (1985).** Explosives and Blasting procedures manual.



**EXSA. (2019).** Manual práctico de Voladura 5 Edición. Lima-Perú: Exsa.

**FAMESA. (2019).** Manual práctico de Voladura. Lima-Perú: Famesa.

**GAMERO LAURA, D. E. (2014).** Optimización de perforación y voladura utilizando el sistema de perforación Casing y variación de factor de potencia para reducir daños en las cajas, Mina Casapalca. Arequipa-Perú: UNSA.

**GONZALES HILARES, Y. (2019).** Reducción de costos operativos en la labor – 52 Carmen NV-3400 mediante la optimización de los estándares de perforación y voladura, CIA Minera Poderosa S.A 2018. Abancay-Perú: UNAMBA.

**HOEK D., E., & BROWN, E. (1985).** Excavaciones Subterráneas en Roca. Londres UK:

**LOPEZ JIMENO, C., LOPEZ JIMENO, E., ORTIZ DE URBINA, F. P., & PERNIA LLERA, J. M. (1987).** Manual de perforación y Voladura de rocas. Madrid España: Instituto tecnológico Geo minero de España.

**MAYORAL FERNANDEZ, R. (2008).** Optimización técnico-económica de perforación de barrenos en terrenos homogéneos, buscando leyes de desgaste para bocas de perforación. Oviedo-España: Universidad de Oviedo España.

**MELGAREJO GUILLERMO, S. (2018).** Optimización del avance mediante el diseño de la perforación y voladura de rocas para minimizar los costos operacionales en la construcción de la rampa (-) principal en la U.M. Tambomayo Cía. Minera Buena ventura SAA. Huaraz -Perú: UNSAM.

**MÉNDEZ BARZOLA, M. (2019).** Mejoramiento de la perforación y voladura en la construcción de la rampa 2705, de la unidad minera Parcoy, Consorcio Minero Horizonte s.a.

**OSINERGMIN (Organismo de supervisión de inversión en energía y Minería). (2017).** Guía de criterios Geomecánicas para diseño, Construcción, Supervisión y



Cierre de labores subterráneas. Lima- Perú: Osinergmin.

**RAMÍREZ OYANGUREN, P., & ALEJANO MONGE, L. (2004).** Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. Madrid-España: UPM.

**RAMÍREZ OYANGUREN, P., DE LA CUADRA IRIZAR, L., LEÓN HUERTA, R., & GRIJALBO OBESO, E. (1985).** Mecánica de rocas aplicada a la Minería Subterránea. Madrid España: UPAM.

**RAMOS BORDA, L. (2016).** Optimización de la ejecución de Galerías y Cruceros en la mina Ana María, mediante estandarización de la perforación y Voladura. Puno-Perú: UNA.

**RODRIGUEZ MAMANI, J. (2018).** Diseño de mallas de perforación para optimizar el avance lineal del crucero 12 Norte y Sur del nivel 1600 en la mina cerro lindo, distrito Chavín, provincia de Chincha Alta-Ica-2018. Moquegua: UNM.

**ROJAS APARICIO, K., & FLORES SOLANO, Y. (2017).** Diseño de Malla de Perforación y Voladura para la reducción de costos en el nivel 1590 crucero 520 de la U: E: A Capitana- Corporación Laces SAC Minería y Construcción - Caraveli- Arequipa. Huancavelica- Perú: UNH (Universidad Nacional de Huancavelica). - 53

**ROJAS LINARES, E. (2019).** Enfoque predictivo para la optimización del tamaño de fragmentación en base a las técnicas de perforación y Voladura de rocas. Lima Perú: EPG UNMSM.

**SERÍN ALVITES, R. G. (2017).** Reducir el porcentaje de dilución, mediante voladura controlada en los tajos de producción en la Marsa-Retamas. Trujillo: UNT.

**SILVA CAMPOS, E. A. (2017).** Mejoramiento de los indicadores de perforación y voladura mediante la aplicación de la tecnología de diseño Laser en el mercado de mallas y voladura controlada en los frentes de avances en la mina Consuelo-Unidad de producción Maraón de la compañía minera. Trujillo-Perú: UNT.



## ANEXOS



MATRIZ DE CONSISTENCIA

Optimización de los Índices de perforación y Voladura en el avance de la rampa Patrick IV para la reducción de costos operacionales, en la U.M. San Andrés Cia Miera marsa 2021.						
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	PPOBLACIÓN/ MUESTRA	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General:</b> ¿En qué medida se podrá optimizar los índices de perforación y voladura para reducir los costos operacionales en la profundización de la rampa Patrick IV en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 2021?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b> 1.- ¿Qué técnicas de voladura se aplicarán para reducir la sobrerotura en la profundización de la rampa Patrick en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 2021?</p> <p>2.- ¿Qué monitoreos de Vibraciones determinar los parámetros de se deben a ver para demostrar los modelos predictivos que permitan atenuar los daños del macizo rocoso en la en la profundización de la rampa Patrick en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 2021?</p> <p>3.- ¿Qué oportunidades de mejora del proceso de perforación y voladura se pueden identificar para optimizar los KPI en la profundización de la rampa Patrick en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 2021?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Determinar los índices de perforación y voladura para reducir los costos operacionales de perforación y voladura en la profundización de la rampa Patrick IV en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 2021</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b> 1.- Emplear técnicas de voladura controlada con el fin de reducir la sobrerotura en la perforación y voladura controlada en la profundización de la rampa Patrick en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 20210</p> <p>2.-Realizar monitoreos de vibraciones a las voladuras para demostrar con modelos predictivos de atenuación al daño al macizo rocoso inducido en la voladura en la profundización de la rampa Patrick en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 2021 </p> <p>3.-Identificar las oportunidades de mejora en el proceso de perforación y voladura que permitirán optimizar los KPI actuales (Avance, factor de carga y sobrerotura) en la profundización de la rampa Patrick en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 2021</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> La optimización de los índices de perforación y voladura logra reducir los costos operacionales de perforación y voladura en la profundización de la rampa Patrick IV en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 2021.</p> <p><b>Hipótesis Específicos:</b> 1.-Con el empleo de técnicas de voladura controlada se logra reducir la sobrerotura en la profundización de la rampa Patrick en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 2021</p> <p>2.- La realización de los monitoreos de las vibraciones a las voladuras permiten demostrar con modelos predictivos la atenuación al macizo rocosos inducido en la profundización de la rampa Patrick en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 2021 }</p> <p>3.- La identificación de las oportunidades de mejora en el proceso de perforación y voladura permiten optimizar los KPI actuales (Avance, factor de carga y sobrerotura) en la profundización de la rampa Patrick en la unidad Minera San Andrés de la Cia Minera Marsa 2021</p>	<p><b>Independientes:</b> Reducción de los costos operacionales</p> <p><b>Dependientes</b> KPI(Indicadores). KPI(Voladura)..</p>	<p>-</p> <p>Volumen roto Tonelaje roto Factor de carga Factor de avance lineal</p>	<p><b>Población:</b> Labores de la profundización de la rampa Patrick IV en la unidad Minera San Andrés</p> <p><b>Muestra:</b> Rampa Patrick IV</p>	<p><b>Tipo:</b> Investigación aplicada.</p> <p><b>Enfoque de investigación:</b> Enfoque Cuantitativo.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Experimental</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Explicativo.</p>

## PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 38 — Scoop utilizado para la limpieza en la profundización de la rampa Patrick IV



Figura 36 — Amarre para la voladura, en la profundización de la Rampa Patrick IV



**Figura 39 — Preparación de las cañas para la voladura de controlada de contorno en la profundización de la Rampa Patrick IV**



Figura 40 — Perforación con Jumbo de dos brazos en la profundización de la Rampa Patrick IV



Figura 41 — Trazado de la malla de perforación, en la profundización de la rampa Patrick IV

# REPORTER SISMOGRAFO

## ANEXOS -REGISTROS DELSISMÓGRAFO



### Event Report

Date/Time Vert at 20:27:34 June 1, 2018  
 Trigger Source Geo: 0.510 mm/s  
 Range Geo :254 mm/s  
 Record Time 10.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
 Job Number: 1

Serial Number BE8718 V 10.72-8.17 MiniMate Plus  
 Battery Level 5.9 Volts (Battery Low)  
 Calibration May 10, 2017 by Geoinstruments  
 File Name J718HFTK.TY0

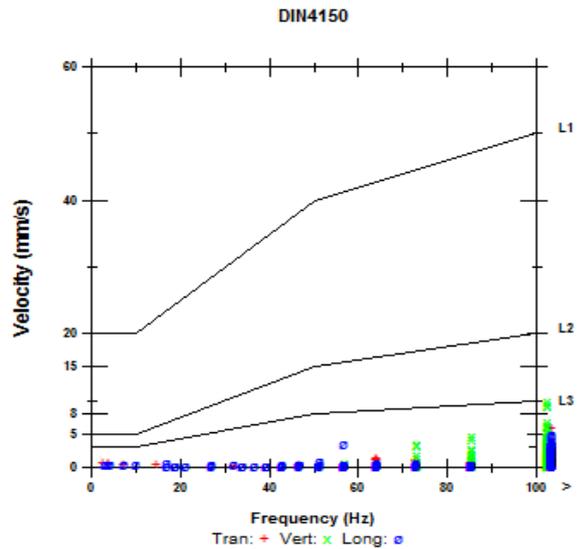
#### Notes

Location: Parcoy  
 Client: MINERA AURIFERA RETAMAS  
 User Name: EXSA S.A.  
 General: Vibraciones Luis Neira

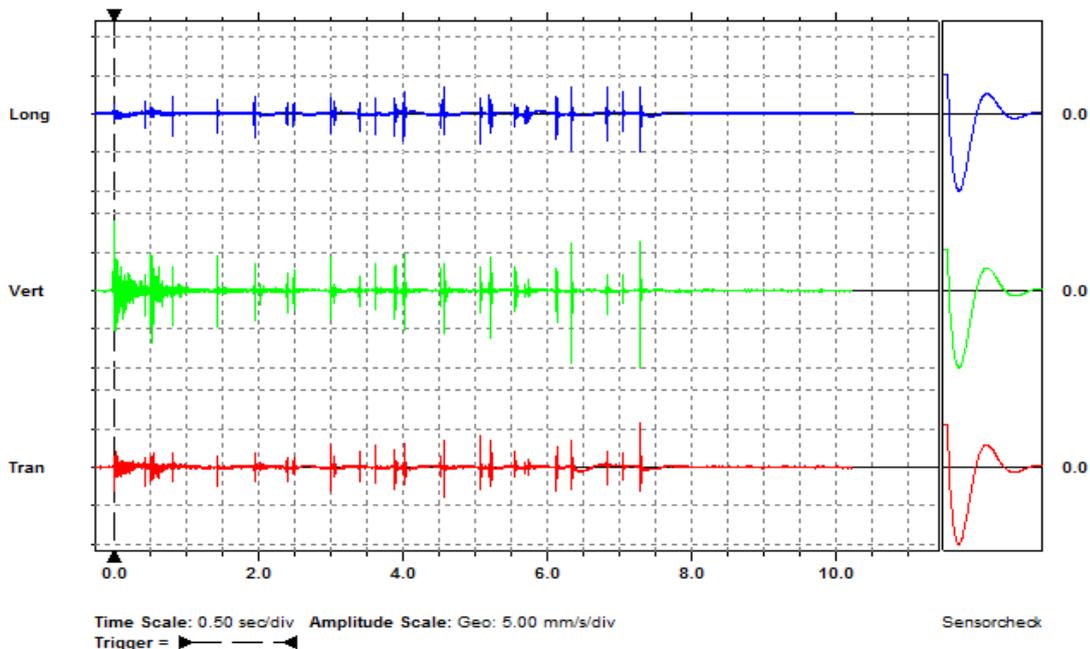
#### Extended Notes

#### Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	5.84	10.0	4.95	mm/s
PPV (Ponderated)	1.81	1.76	1.28	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	7.294	7.296	7.291	sec
Peak Acceleration	0.697	1.59	0.875	g
Peak Displacement	0.0415	0.00781	0.0267	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.5	7.4	7.3	Hz
Overswing Ratio	3.6	3.6	4.0	



Peak Vector Sum 10.6 mm/s at 7.296 sec



Printed: June 10, 2018 (V 8.12 - 8.12)

Format Copyrighted 2006-2007 Instantel, a division of VeriChip Corporation



**Date/Time** Vert at 20:33:27 June 1, 2018  
**Range** Geo :254 mm/s  
**Record Time** 10.75 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
**Job Number:** 1

**Serial Number** BE17618 V 10.72-8.17 MiniMate Plus/8  
**Battery Level** 6.2 Volts  
**Calibration** May 18, 2017 by Geoinstruments  
**File Name** S618HFTL.3R0

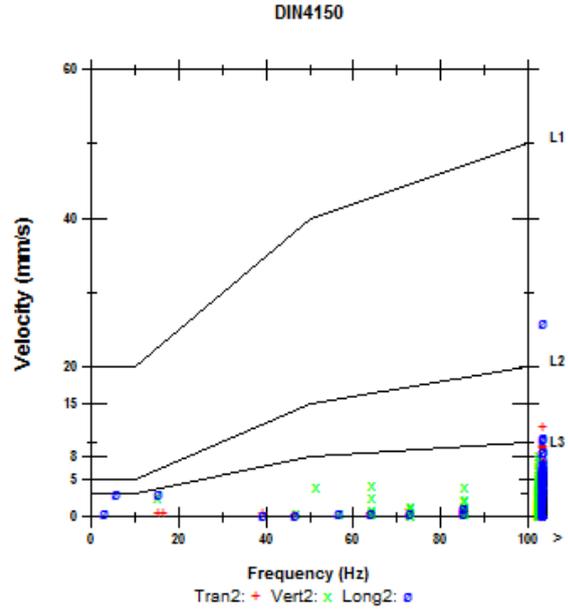
**Notes**

Location: Rioja  
 Client: Cementos Selva  
 User Name: EXSA S.A.  
 General: Vibraciones - Luis Neira

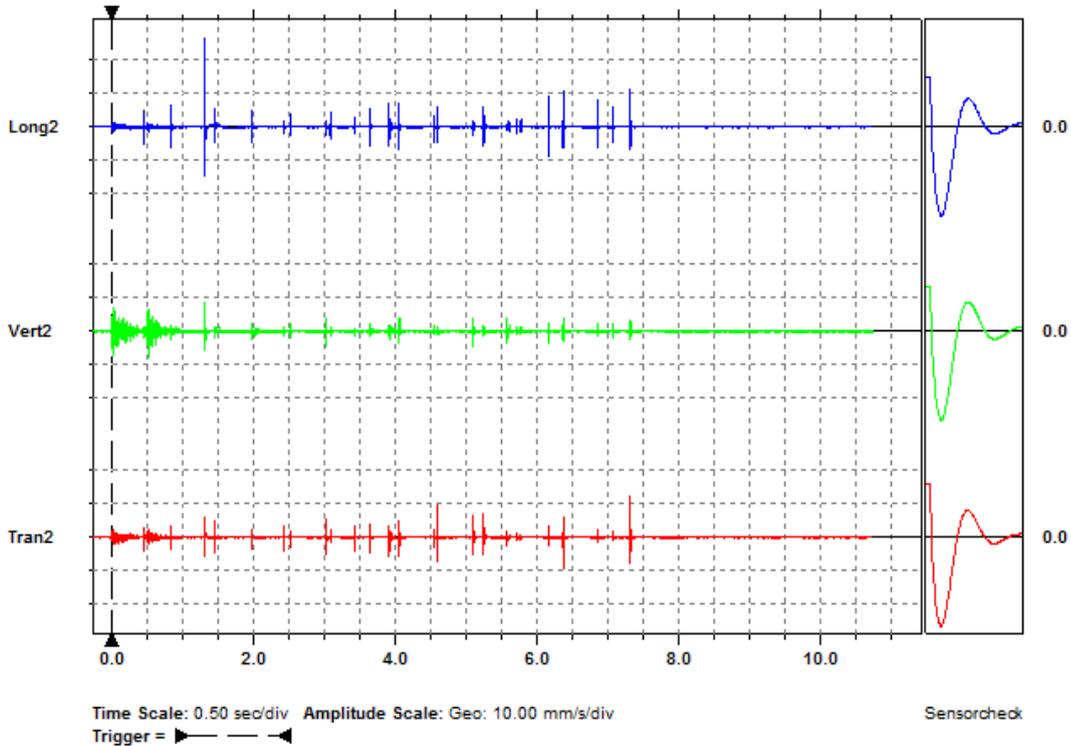
**Extended Notes**

**Post Event Notes**

	Tran2	Vert2	Long2	
PPV	11.9	8.25	26.0	mm/s
PPV (Ponderated)	1.07	1.35	2.65	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	7.323	1.326	1.326	sec
Peak Acceleration	1.88	1.22	2.84	g
Peak Displacement	0.00583	0.0111	0.0251	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.6	7.5	7.5	Hz
Overswing Ratio	3.6	3.2	3.4	



Peak Vector Sum 27.7 mm/s at 1.326 sec





## Event Report

Date/Time Vert at 20:33:27 June 1, 2018  
Trigger Source Geo: 0.510 mm/s  
Range Geo :254 mm/s  
Record Time 10.75 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
Job Number: 1

Serial Number BE17618 V 10.72-8.17 MiniMate Plus/8  
Battery Level 6.2 Volts  
Calibration May 18, 2017 by Geoinstruments  
File Name S618HFTL.3R0

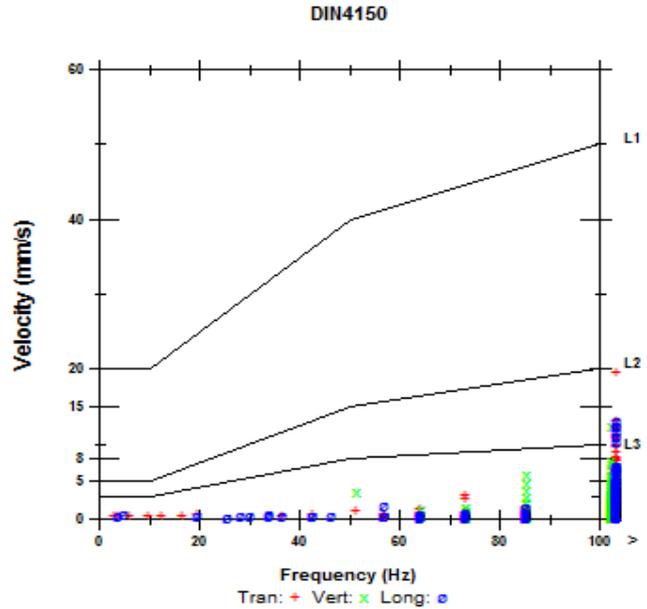
### Notes

Location: Rioja  
Client: Cementos Selva  
User Name: EXSA S.A.  
General: Vibraciones - Luis Neira

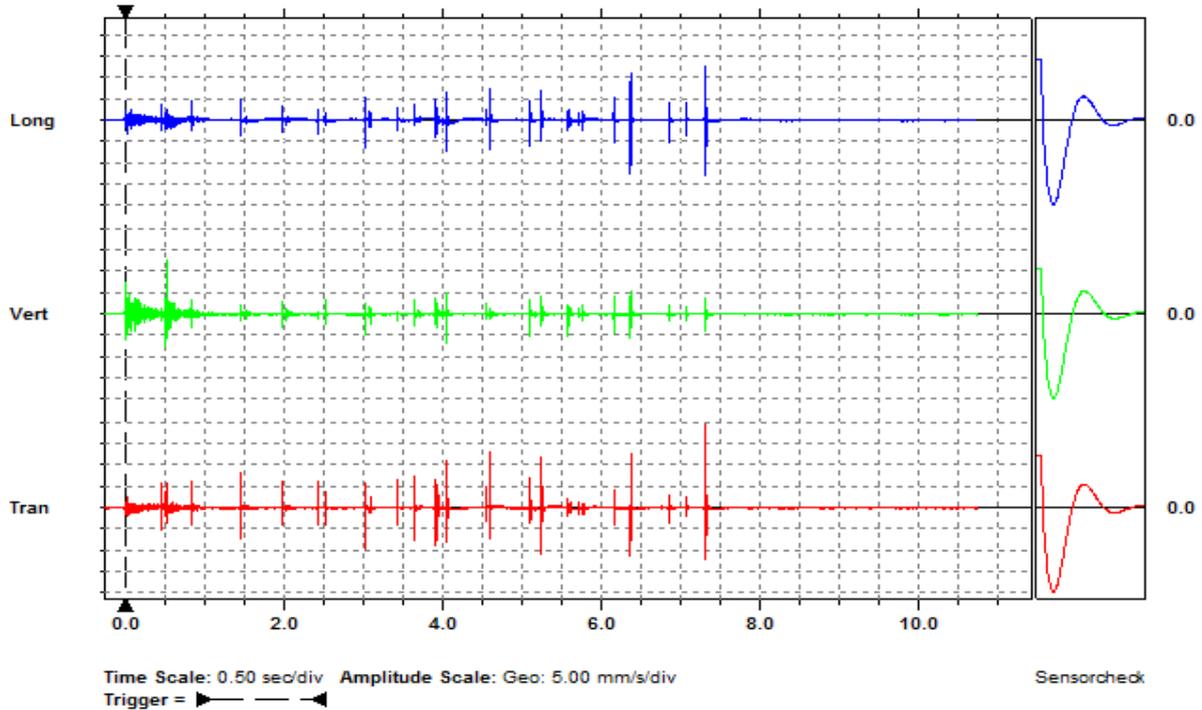
### Extended Notes

### Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	19.6	12.6	13.1	mm/s
PPV (Ponderated)	1.51	2.50	1.99	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	7.323	0.528	7.321	sec
Peak Acceleration	2.40	0.915	2.07	g
Peak Displacement	0.0257	0.0185	0.0235	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.4	7.5	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.9	3.7	



Peak Vector Sum 23.3 mm/s at 7.323 sec



Printed: June 10, 2018 (V 8.12 - 8.12)

Format Copyrighted 2006-2007 Instantel, a division of VeriChip Corporation



Date/Time Vert at 20:56:49 June 2, 2018  
 Range Geo :254 mm/s  
 Record Time 9.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
 Job Number: 2

Serial Number BE17618 V 10.72-8.17 MiniMate Plus/8  
 Battery Level 6.1 Volts  
 Calibration May 18, 2017 by Geoinstruments  
 File Name S618HFVG.UPO

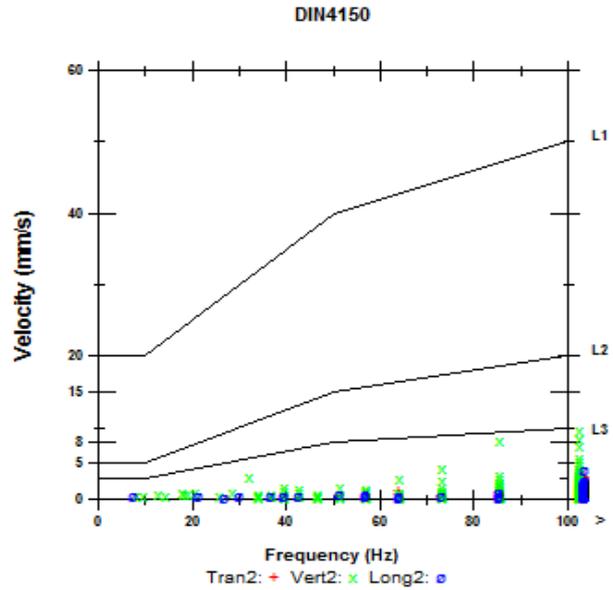
**Notes**

Location: Parcoy  
 Client: Marsa  
 User Name: EXSA S.A.  
 General: Vibraciones - Luis Neira

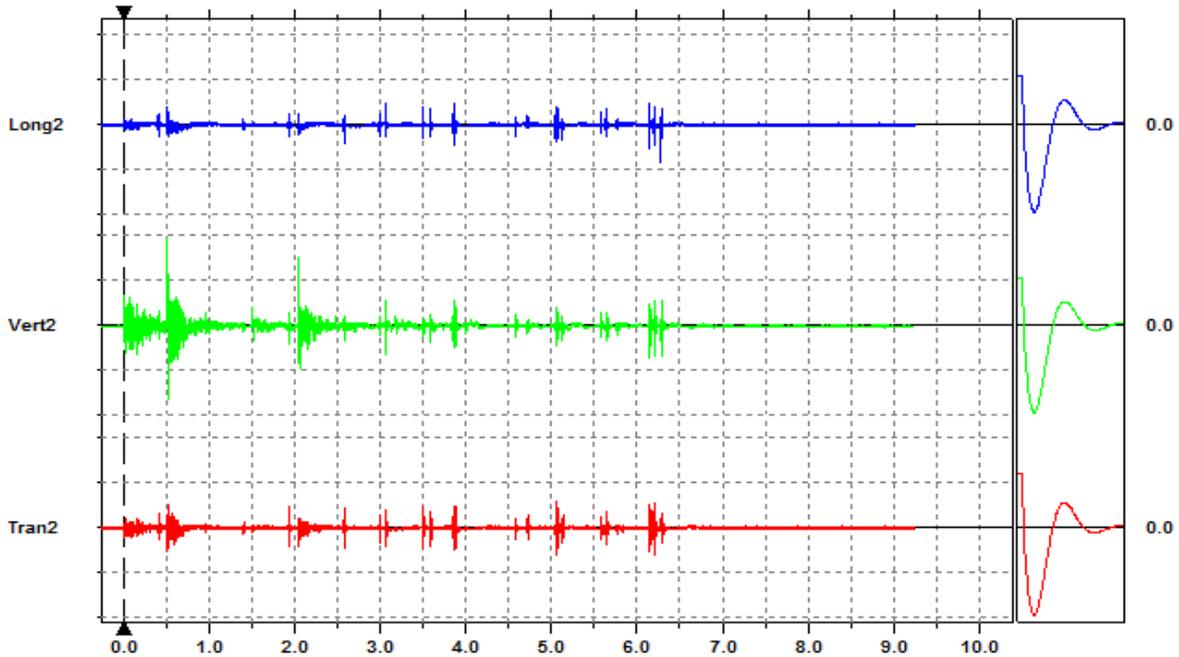
**Extended Notes**

**Post Event Notes**

	Tran2	Vert2	Long2	
PPV	3.05	9.78	4.19	mm/s
PPV (Ponderated)	0.980	2.62	0.944	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	5.056	0.518	6.283	sec
Peak Acceleration	0.530	0.676	0.610	g
Peak Displacement	0.00267	0.0115	0.00837	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.4	7.4	Hz
Overswing Ratio	3.8	4.0	3.8	



Peak Vector Sum 10.2 mm/s at 0.518 sec



Time Scale: 0.50 sec/div Amplitude Scale: Geo: 5.00 mm/s/div  
 Trigger =

Sensorcheck

**Date/Time** Vert at 20:56:49 June 2, 2018  
**Trigger Source** Geo: 0.510 mm/s  
**Range** Geo :254 mm/s  
**Record Time** 9.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
**Job Number:** 2

**Serial Number** BE17618 V 10.72-8.17 MiniMate Plus/8  
**Battery Level** 6.1 Volts  
**Calibration** May 18, 2017 by Geoinstruments  
**File Name** S618HFVG.UPO

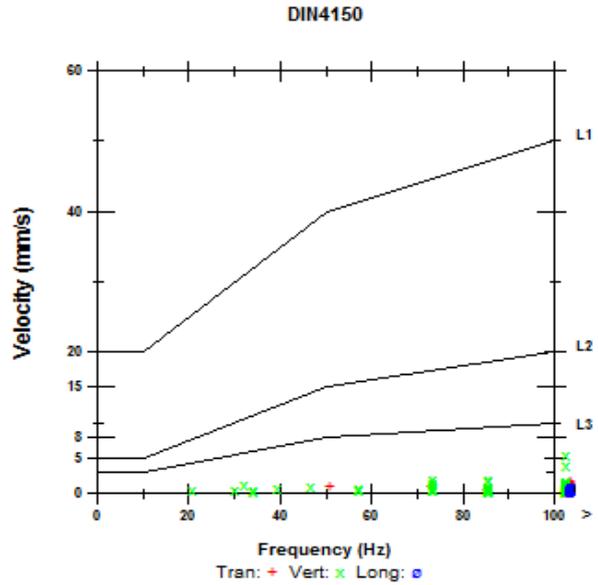
**Notes**

**Location:** Parcoy  
**Client:** Marsa  
**User Name:** EXSA S.A.  
**General:** Vibraciones - Luis Neira

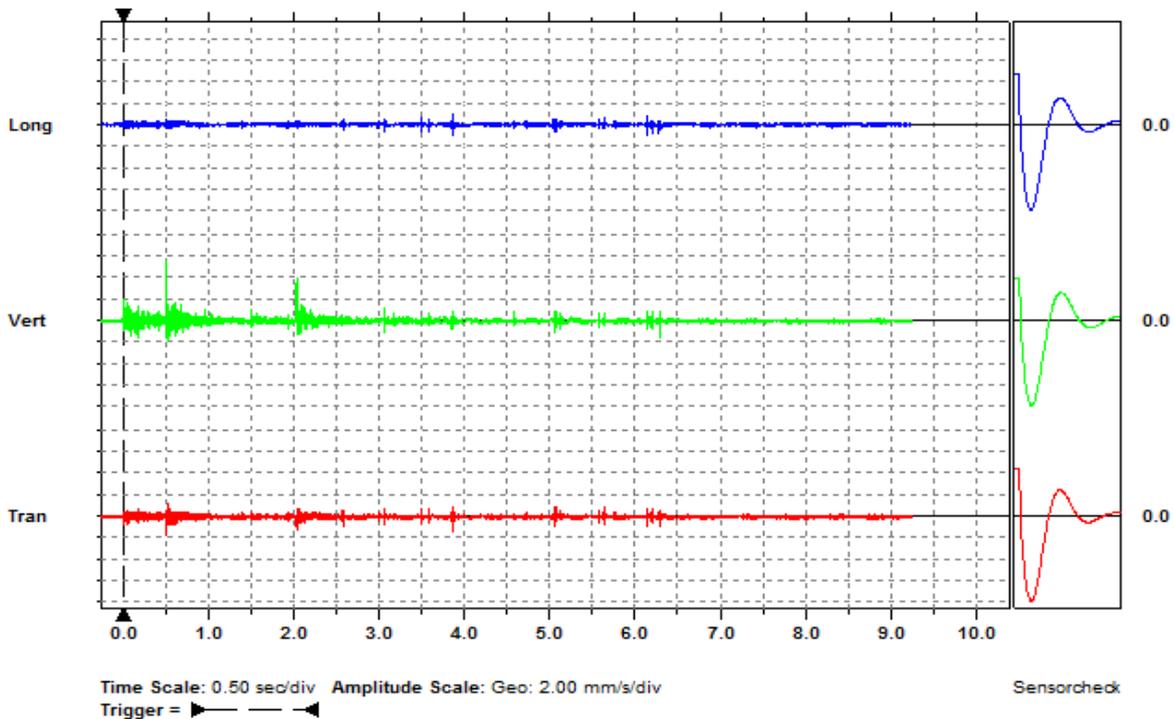
**Extended Notes**

**Post Event Notes**

	Tran	Vert	Long	
PPV	1.78	5.46	1.02	mm/s
PPV (Ponderated)	0.499	1.31	0.377	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.510	0.510	3.872	sec
Peak Acceleration	0.199	0.384	0.159	g
Peak Displacement	0.00217	0.00583	0.00130	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.6	7.5	7.7	Hz
Overswing Ratio	3.5	3.2	3.3	



Peak Vector Sum 5.75 mm/s at 0.510 sec



Date/Time Tran at 20:37:03 June 5, 2018  
 Trigger Source Geo: 0.510 mm/s  
 Range Geo: 254 mm/s  
 Record Time 10.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
 Job Number: 3

Serial Number BE8718 V 10.72-8.17 MiniMate Plus  
 Battery Level 6.4 Volts  
 Calibration May 10, 2017 by Geoinstruments  
 File Name J718HG0Z.XR0

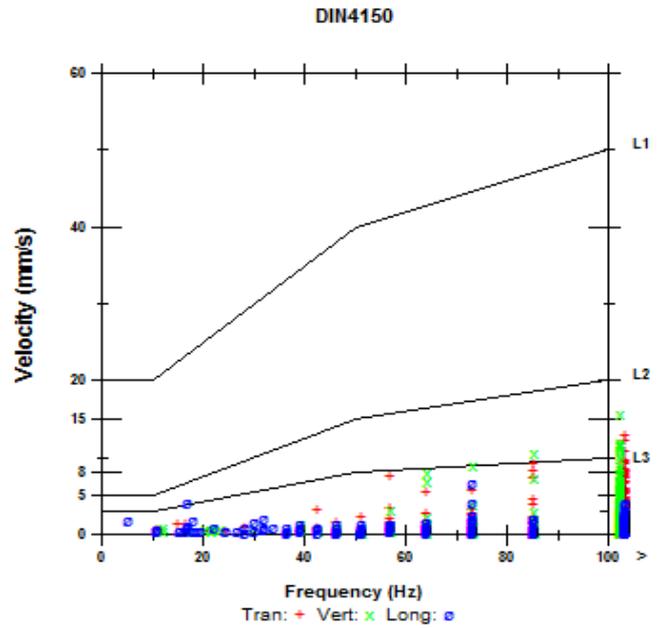
**Notes**

Location: Parcoy  
 Client: MINERA AURIFERA RETAMAS  
 User Name: EXSA S.A.  
 General: Vibraciones Luis Neira

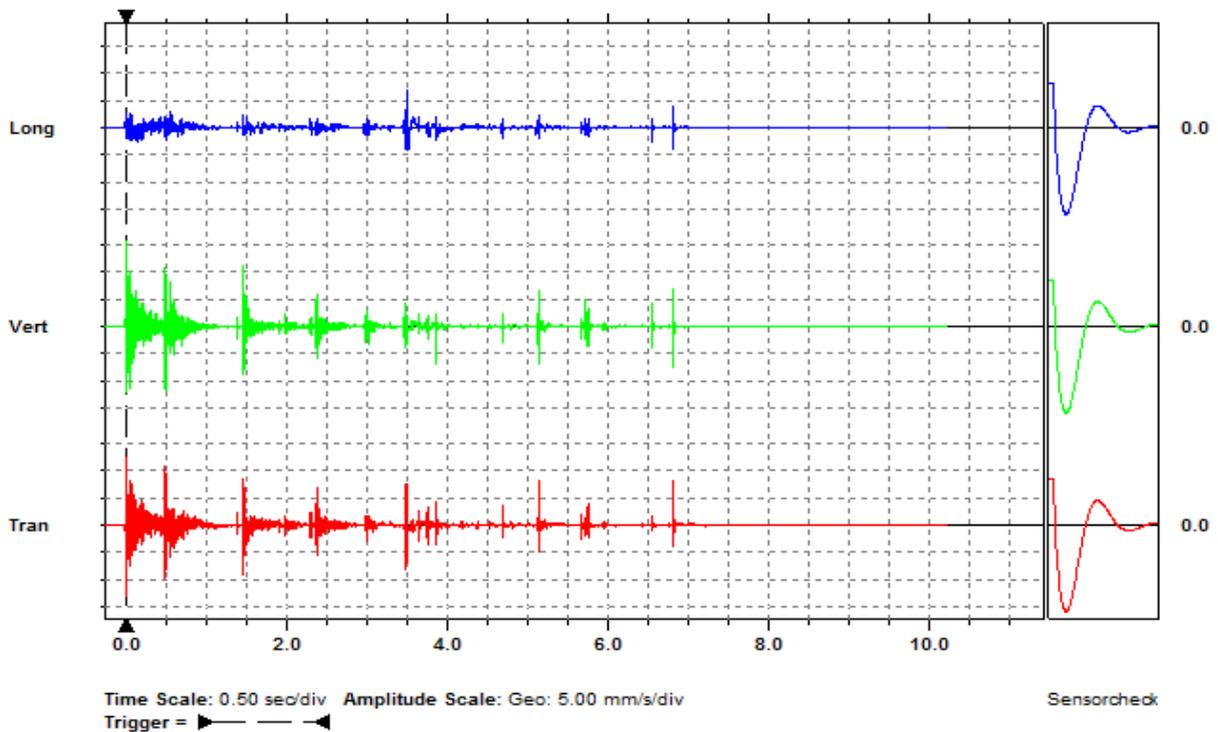
**Extended Notes**

**Post Event Notes**

	Tran	Vert	Long	
PPV	13.0	15.7	6.73	mm/s
PPV (Ponderated)	4.47	2.89	4.09	mm/s
ZC Freq	>100	>100	73	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.002	0.002	3.499	sec
Peak Acceleration	1.38	1.63	0.530	g
Peak Displacement	0.0217	0.0173	0.0486	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.3	7.3	7.2	Hz
Overswing Ratio	3.7	3.7	4.1	



Peak Vector Sum 20.4 mm/s at 0.002 sec



**Date/Time** Tran2 at 20:43:01 June 5, 2018  
**Range** Geo :254 mm/s  
**Record Time** 9.75 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
**Job Number:** 2

**Serial Number** BE17618 V 10.72-8.17 MiniMate Plus/8  
**Battery Level** 6.2 Volts  
**Calibration** May 18, 2017 by Geoinstruments  
**File Name** S818HG10.7P0

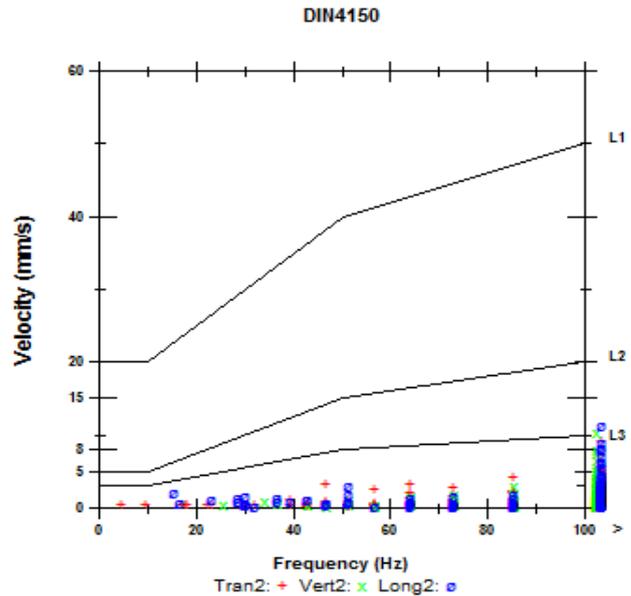
**Notes**

**Location:** Parcoy  
**Client:** Marsa  
**User Name:** EXSA S.A.  
**General:** Vibraciones - Luis Neira

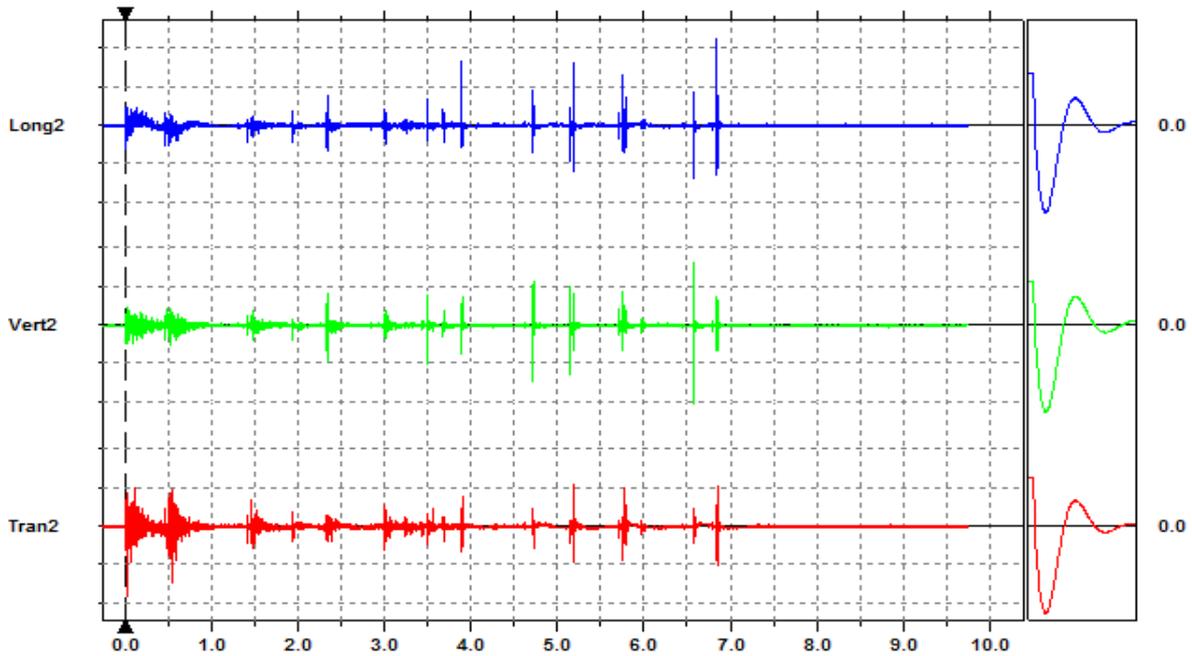
**Extended Notes**

**Post Event Notes**

	Tran2	Vert2	Long2	
PPV	9.27	10.3	11.3	mm/s
PPV (Ponderated)	2.17	0.998	2.70	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.022	6.582	6.847	sec
Peak Acceleration	0.729	1.39	1.60	g
Peak Displacement	0.0138	0.00484	0.0125	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.5	7.5	7.6	Hz
Overswing Ratio	3.6	3.3	3.4	



Peak Vector Sum 12.7 mm/s at 6.847 sec



**Time Scale:** 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div  
**Trigger =**

Sensorcheck

**Date/Time** Tran2 at 20:43:01 June 5, 2018  
**Trigger Source** Geo: 0.510 mm/s  
**Range** Geo :254 mm/s  
**Record Time** 9.75 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
**Job Number:** 2

**Serial Number** BE17618 V 10.72-8.17 MiniMate Plus/8  
**Battery Level** 6.2 Volts  
**Calibration** May 18, 2017 by Geoinstruments  
**File Name** S618HG10.7P0

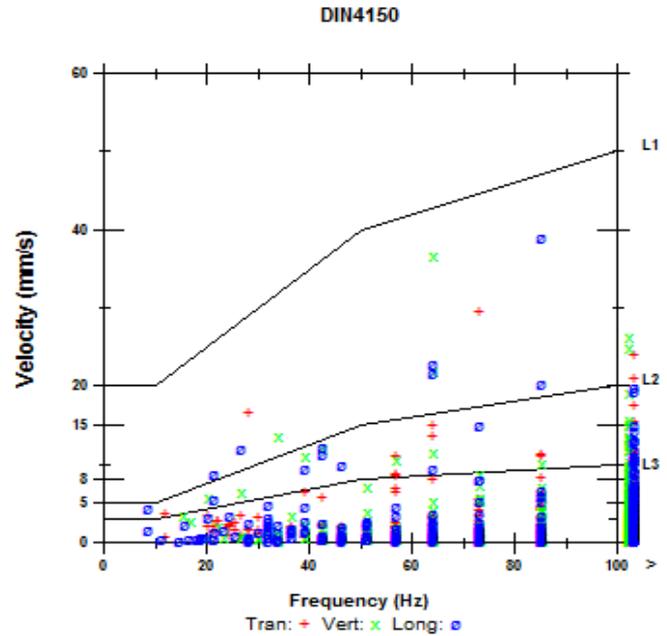
**Notes**

**Location:** Parcoy  
**Client:** Marsa  
**User Name:** EXSA S.A.  
**General:** Vibraciones - Luis Neira

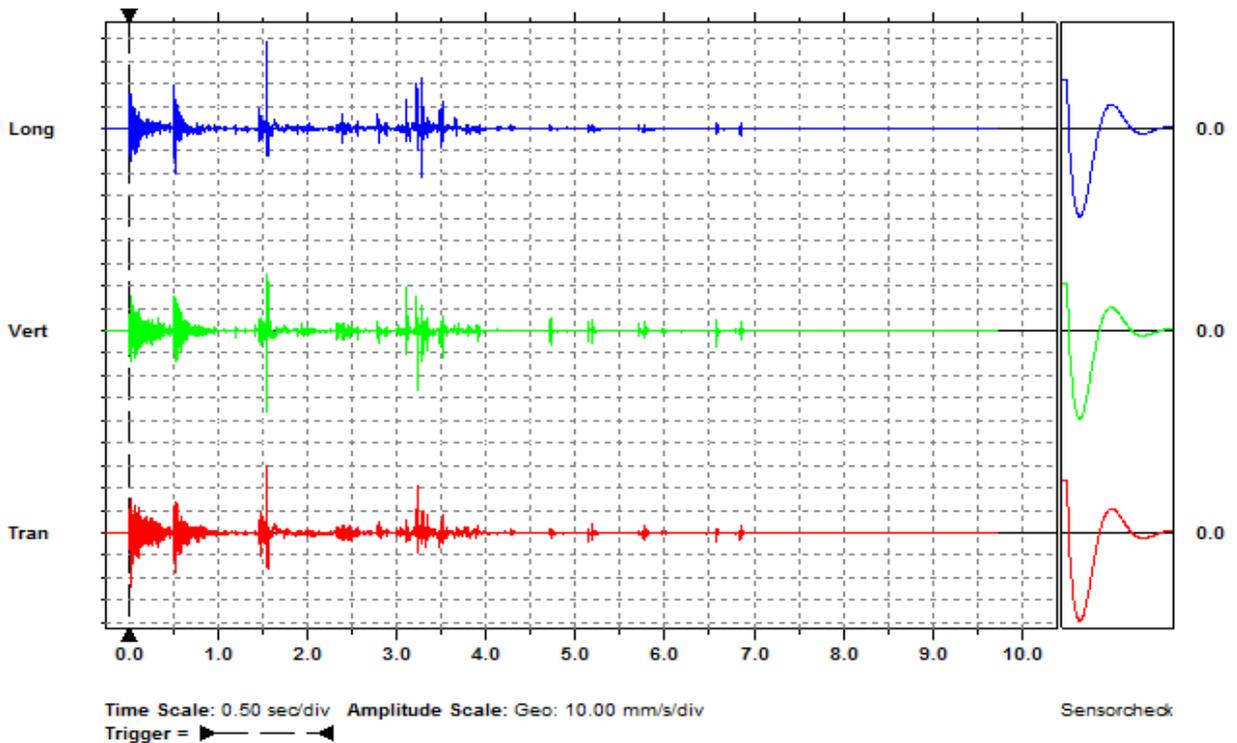
**Extended Notes**

**Post Event Notes**

	Tran	Vert	Long	
PPV	29.6	36.7	39.0	mm/s
PPV (Ponderated)	15.8	13.4	14.1	mm/s
ZC Freq	73	64	85	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.551	1.551	1.549	sec
Peak Acceleration	1.94	3.46	2.35	g
Peak Displacement	0.0733	0.0590	0.0779	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.3	7.4	7.3	Hz
Overswing Ratio	3.9	3.9	3.9	



Peak Vector Sum 47.2 mm/s at 1.551 sec



**Date/Time** Tran at 20:55:30 June 6, 2018  
**Trigger Source** Geo: 0.510 mm/s  
**Range** Geo :254 mm/s  
**Record Time** 10.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
**Job Number:** 4

**Serial Number** BE8718 V 10.72-8.17 MiniMate Plus  
**Battery Level** 6.3 Volts  
**Calibration** May 10, 2017 by Geoinstruments  
**File Name** J718HG2V.G10

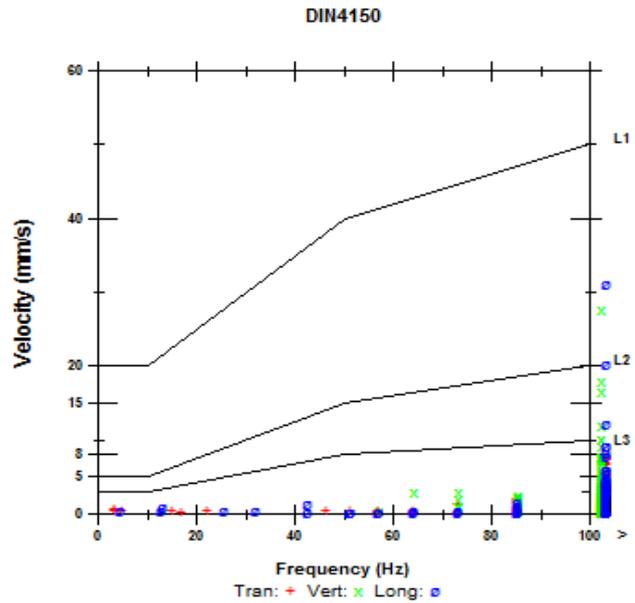
**Notes**

**Location:** Parcoy  
**Client:** MINERA AURIFERA RETAMAS  
**User Name:** EXSA S.A.  
**General:** Vibraciones Luis Neira

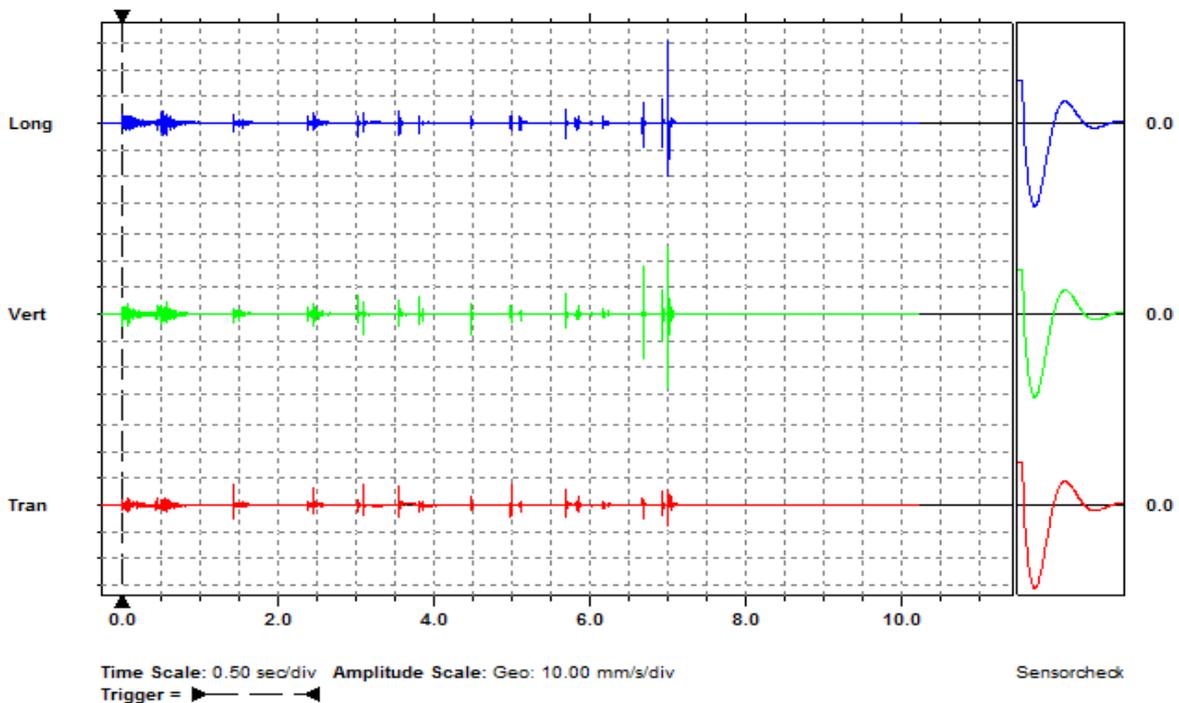
**Extended Notes**

**Post Event Notes**

	Tran	Vert	Long	
PPV	7.87	27.7	31.1	mm/s
PPV (Ponderated)	1.77	1.75	2.45	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	3.108	7.013	7.013	sec
Peak Acceleration	1.01	2.82	3.35	g
Peak Displacement	0.0350	0.0138	0.0219	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.3	7.3	7.2	Hz
Overswing Ratio	3.7	3.6	4.0	



Peak Vector Sum 42.3 mm/s at 7.013 sec



**Date/Time** Vert at 20:55:46 June 6, 2018  
**Trigger Source** Geo: 0.510 mm/s  
**Range** Geo :254 mm/s  
**Record Time** 10.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
**Job Number:** 2

**Serial Number** BE17618 V 10.72-8.17 MiniMate Plus/8  
**Battery Level** 6.1 Volts  
**Calibration** May 18, 2017 by Geoinstruments  
**File Name** S618HG2V.GY0

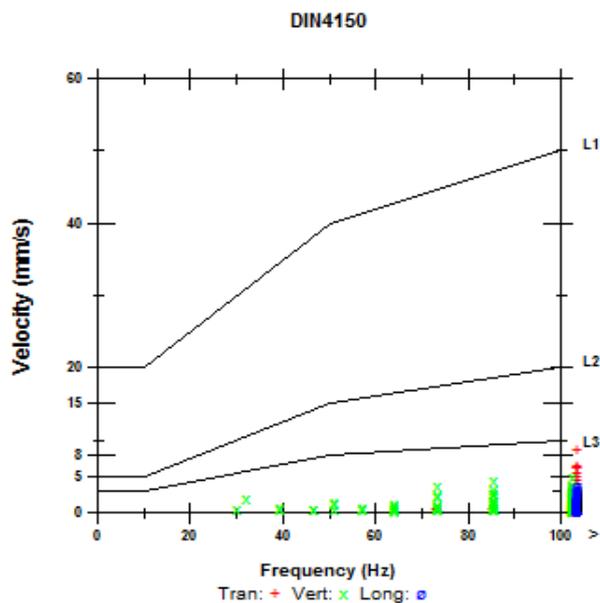
### Notes

**Location:** Parcoy  
**Client:** Marsa  
**User Name:** EXSA S.A.  
**General:** Vibraciones - Luis Neira

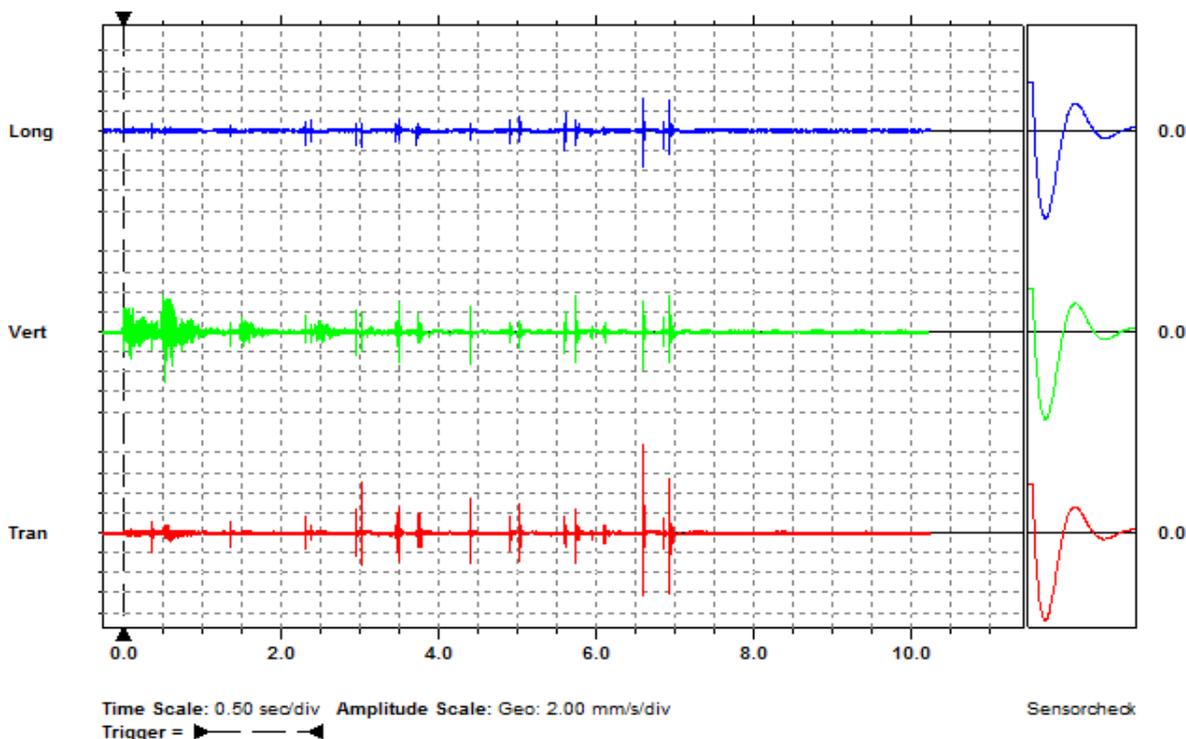
### Extended Notes

### Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	8.76	4.95	3.68	mm/s
PPV (Ponderated)	0.541	1.55	0.527	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	6.608	0.525	6.603	sec
Peak Acceleration	1.22	0.636	0.557	g
Peak Displacement	0.00310	0.00732	0.00291	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.6	7.5	7.5	Hz
Overswing Ratio	3.6	3.2	3.4	



Peak Vector Sum 9.27 mm/s at 6.608 sec



Printed: June 10, 2018 (V 8.12 - 8.12)

Format Copyrighted 2006-2007 Instantel, a division of VeriChip Corporation

**Date/Time** Vert at 07:44:39 June 7, 2018  
**Range** Geo :254 mm/s  
**Record Time** 11.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
**Job Number:** 2

**Serial Number** BE17618 V 10.72-8.17 MiniMate Plus/8  
**Battery Level** 6.1 Volts  
**Calibration** May 18, 2017 by Geoinstruments  
**File Name** S618HG3P.IF0

**Notes**

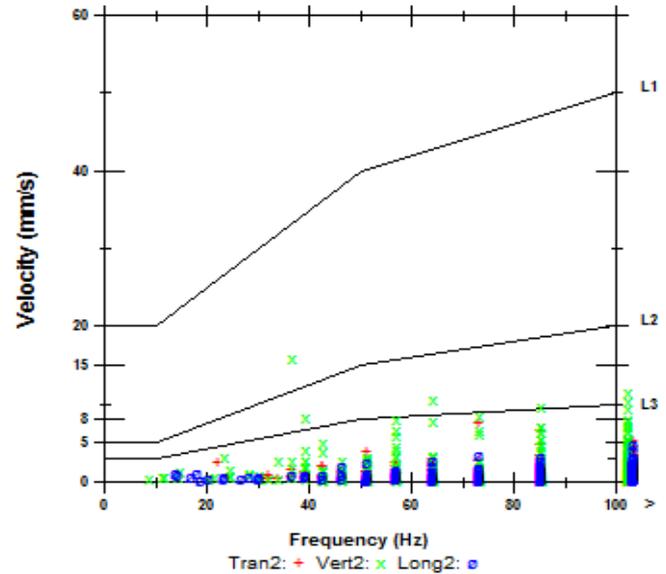
Location: Parcoy  
 Client: Marsa  
 User Name: EXSA S.A.  
 General: Vibraciones - Luis Neira

**Extended Notes**

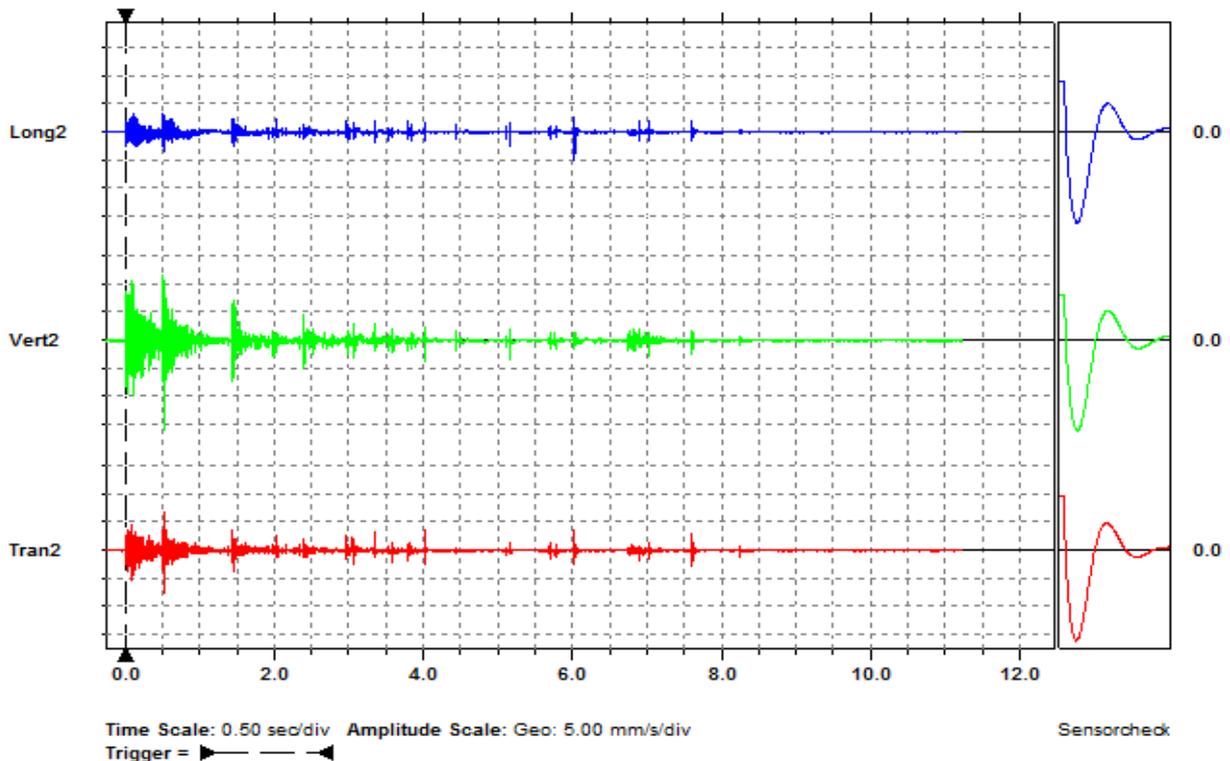
**Post Event Notes**

	Tran2	Vert2	Long2	
PPV	7.62	16.0	4.95	mm/s
PPV (Ponderated)	3.32	8.79	2.45	mm/s
ZC Freq	73	37	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.523	0.517	6.030	sec
Peak Acceleration	0.490	0.988	0.371	g
Peak Displacement	0.0114	0.0440	0.0101	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.7	7.5	7.5	Hz
Overswing Ratio	3.5	3.3	3.4	

**DIN4150**



Peak Vector Sum 17.3 mm/s at 0.517 sec



**Date/Time** Vert at 07:44:39 June 7, 2018  
**Trigger Source** Geo: 0.510 mm/s  
**Range** Geo :254 mm/s  
**Record Time** 11.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
**Job Number:** 2

**Serial Number** BE17618 V 10.72-8.17 MiniMate Plus/8  
**Battery Level** 6.1 Volts  
**Calibration** May 18, 2017 by Geoinstruments  
**File Name** S618HG3P.IF0

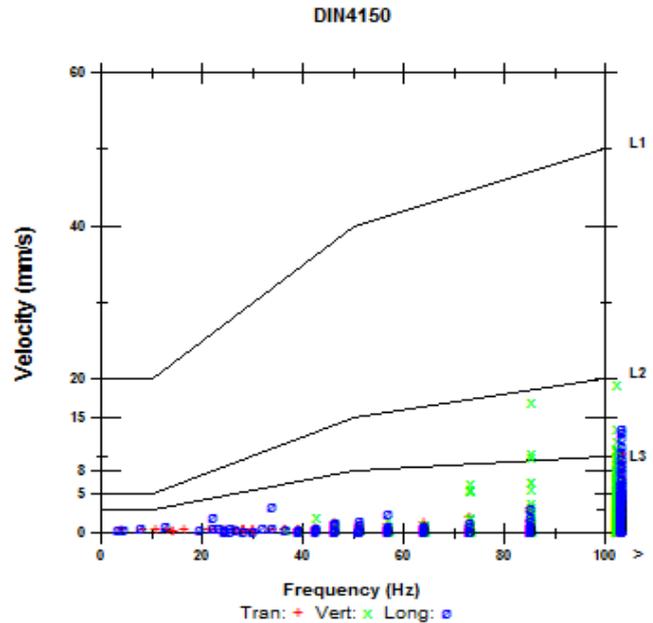
**Notes**

**Location:** Parcoy  
**Client:** Marsa  
**User Name:** EXSA S.A.  
**General:** Vibraciones - Luis Neira

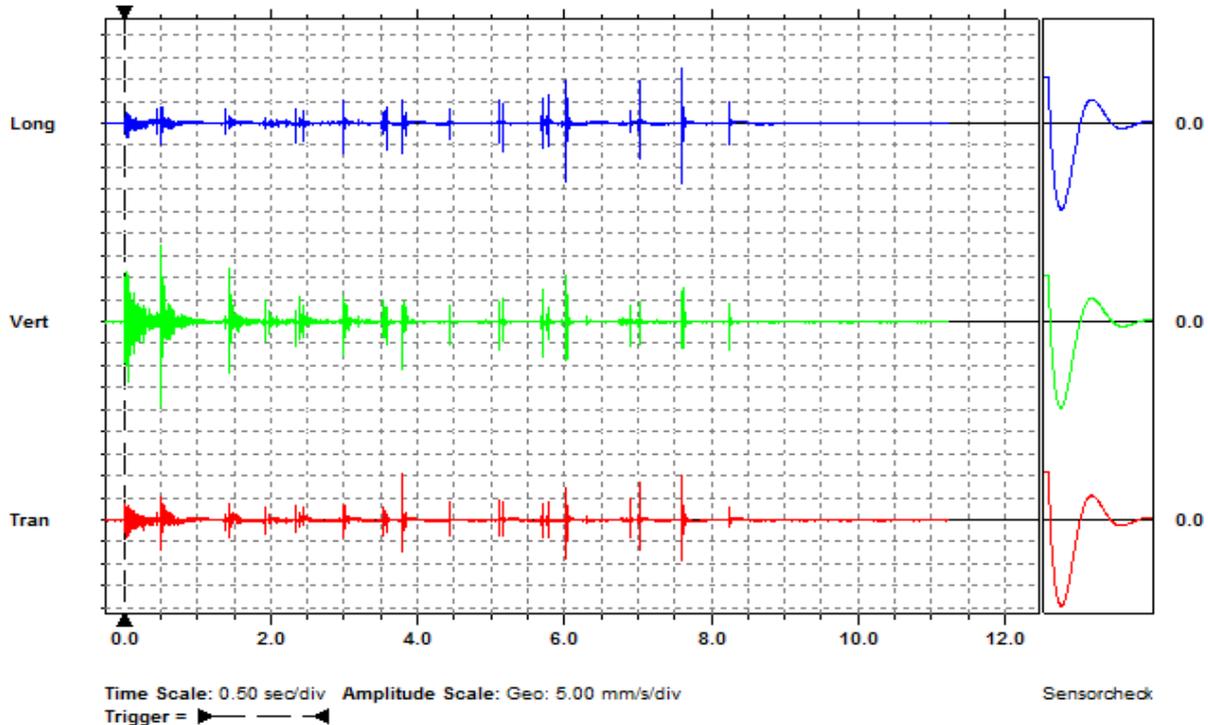
**Extended Notes**

**Post Event Notes**

	Tran	Vert	Long	
PPV	10.3	19.4	13.6	mm/s
PPV (Ponderated)	2.34	3.82	3.07	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	3.800	0.500	7.602	sec
Peak Acceleration	2.04	2.28	1.71	g
Peak Displacement	0.0175	0.0200	0.0234	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.4	7.4	Hz
Overswing Ratio	3.7	4.0	3.8	



**Peak Vector Sum** 19.7 mm/s at 0.500 sec



**Date/Time** Tran at 07:48:03 June 8, 2018  
**Range** Geo :254 mm/s  
**Record Time** 11.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps  
**Job Number:** 2

**Serial Number** BE17618 V 10.72-8.17 MiniMate Plus/8  
**Battery Level** 6.1 Volts  
**Calibration** May 18, 2017 by Geoinstruments  
**File Name** S618HG5K.C30

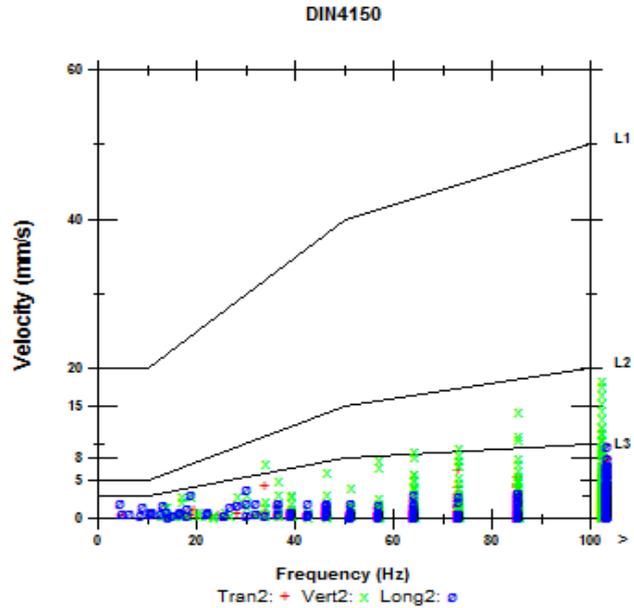
**Notes**

**Location:** Parcoy  
**Client:** Marsa  
**User Name:** EXSA S.A.  
**General:** Vibraciones - Luis Neira

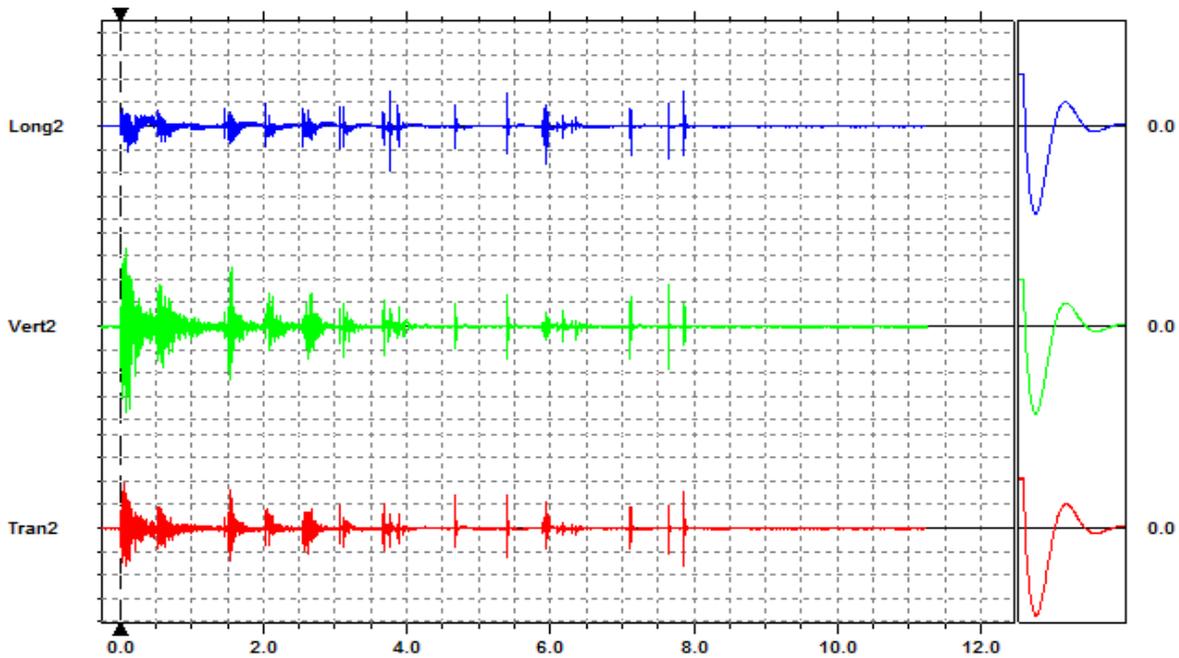
**Extended Notes**

**Post Event Notes**

	Tran2	Vert2	Long2	
PPV	9.65	18.4	9.65	mm/s
PPV (Ponderated)	1.95	4.87	5.26	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.080	0.083	3.771	sec
Peak Acceleration	1.33	1.52	1.27	g
Peak Displacement	0.0151	0.0234	0.0573	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.3	7.4	7.5	Hz
Overswing Ratio	3.9	4.0	3.8	



**Peak Vector Sum** 19.0 mm/s at 0.083 sec



**Time Scale:** 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div  
**Trigger =**

Sensorcheck

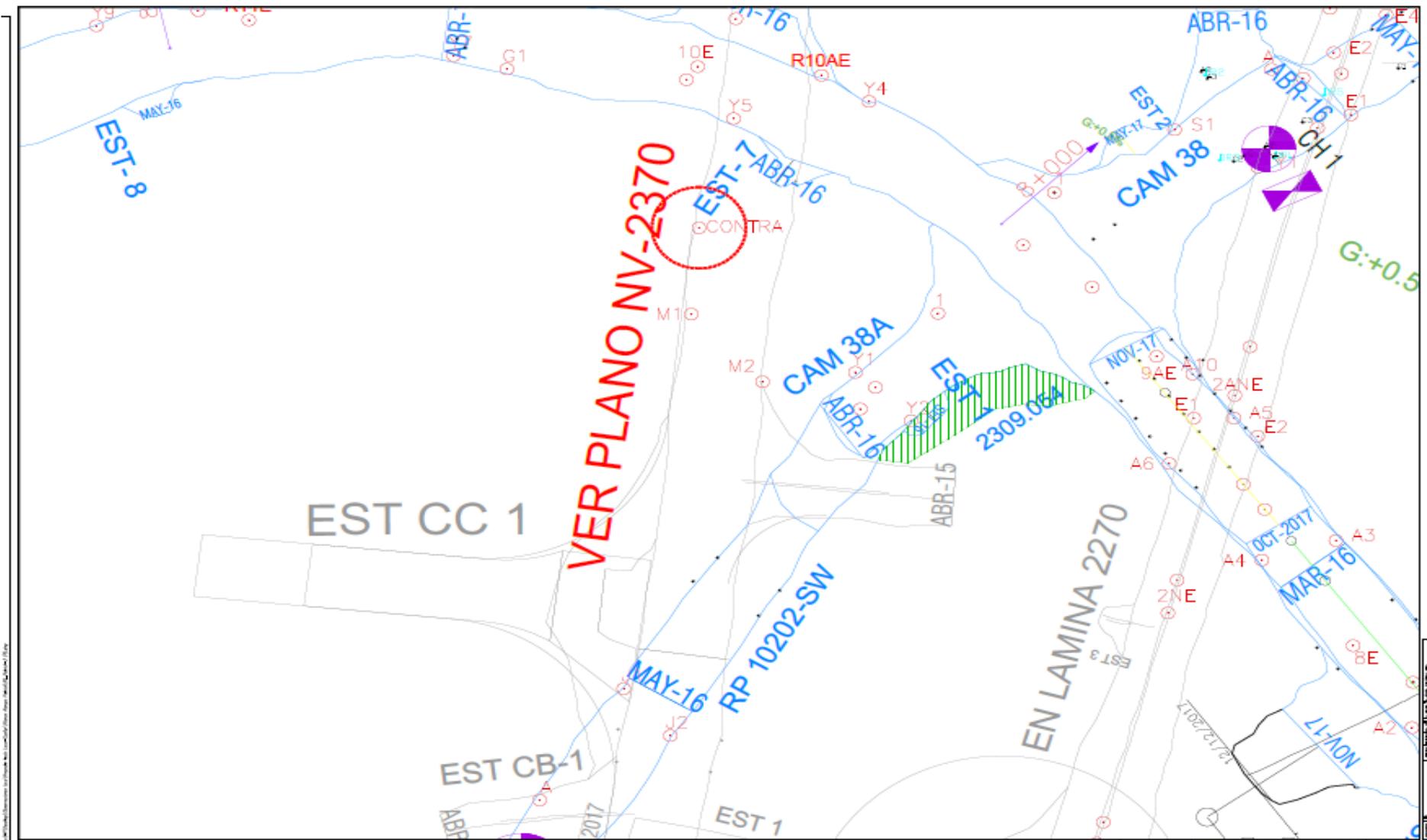
Printed: June 10, 2018 (V 8.12 - 8.12)

Format Copyrighted 2006-2007 Instantel, a division of VeriChip Corporation

## PLANOS





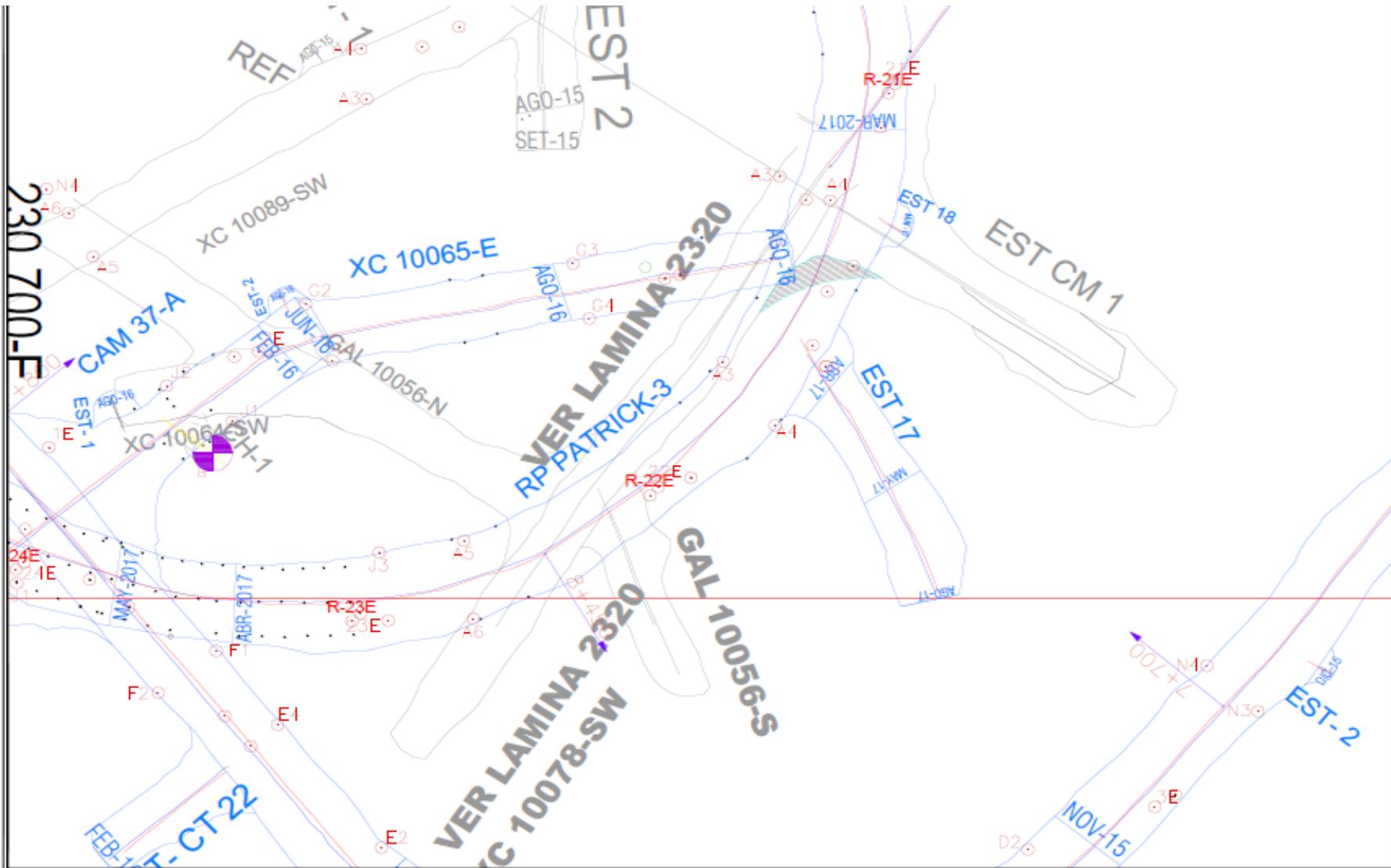


VER PLANO NV-2370

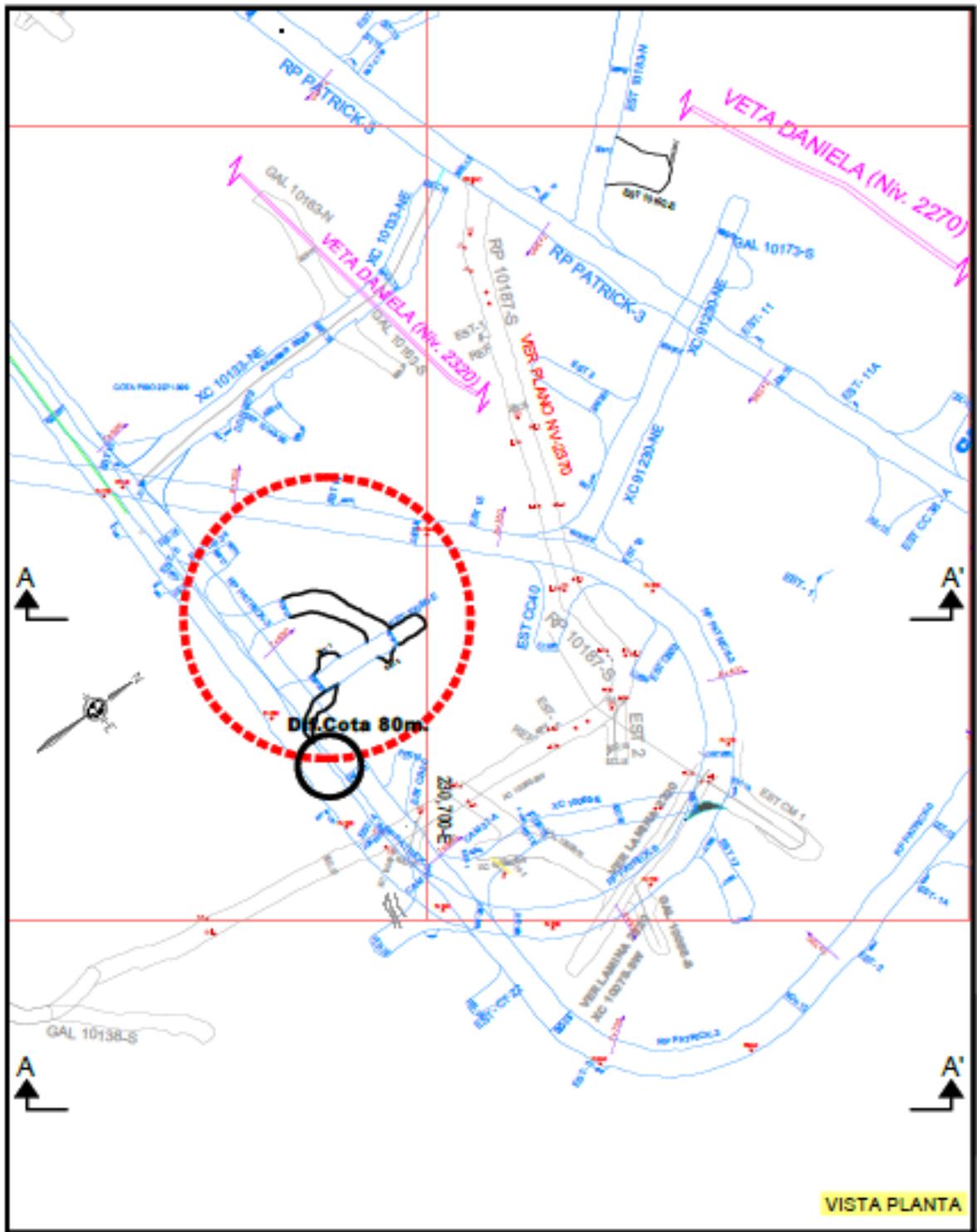
EST CC 1

EN LAMINA 2270

INGENIERIA ALTERNATIVA S.A. PLAN TOPOGRAFICO ZONA: SP PATRICK 3 HOJA: 280	10-2022
--	---------



RUTA ARCHIVO: C:\Users\HP\Desktop\Observaciones loco\Proyecto tesis loco-Cuelta\Planos Rompa Patrick\RP_Patrick		H.L. 23/12/2017
USUARIO: HP		LABOR: 04/04/04 41
FECHA: 12/12/2017 05:24:44 AM		ESCALA: 1/250
<b>PLANO TOPOGRAFICO RP PATRICK 3 12/12/2017</b>		



VISTA PLANTA

LEYENDA			
	PROYECTO		SUB NIVELES
	CHIMENEAS		NIVEL 2320
	INICIO DE CHIMENEA		CHIMENEA VERTICAL

TITULO: A. ACCIONAL PLANTA DISEÑO: A. ACCIONAL PLANTA REVISADO: C. URBANO DE MARSA REVISADO: L. FERRER DE MARSA REVISADO: S. OCHOA DE MARSA REVISADO: R. OBANDO DE MARSA APROBADO: A. ACCIONAL	 <b>MINERA AURIFERA RETAMAS S.A.</b> AREA: PLANEAMIENTO E INGENIERIA <b>PLANO DE LABOR</b> <b>EST 10075-E</b> NIVEL: 2220 VETA: VALERIA H	ESCALA : 1/250  FECHA: 02/12-17
--	--	--

CC: Supervisión Marsa / Supervisión Contrata(2) / Plano para Labor / Archivo

AUTOMARSA - IIR

