

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



Análisis de onda elemental para el control de vibraciones y selección de retardos en la zona geotécnica 4 del tajo sur de un yacimiento de tipo pórfido – skarn de cobre.

Tesis presentada por el Bachiller:

Cari Vargas, Maximo Rodrigo

ORCID: 0009-0000-1779-8686

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor:

Mg. Bernedo Tito, Edwin Jose

ORCID: 0000-0002-3008-6488

Arequipa – Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 06 de Junio del 2024

Dictamen: 011040-C-EPIM-2024

Visto el borrador del expediente 011040, presentado por:

2015600171 - CARI VARGAS MAXIMO RODRIGO

Titulado:

**ANALISIS DE ONDA ELEMENTAL PARA EL CONTROL DE VIBRACIONES Y SELECCIÓN DE
RETARDOS EN LA ZONA GEOTECNICA 4 DEL TAJO SUR DE UN YACIMIENTO DE TIPO PORFIDO - SKARN DE
COBRE**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

**40656104 - LOPEZ CASAPERALTA DE DIAZ PATRICIA YANETH
DICTAMINADOR**



**29721032 - DELGADO PONCE MARIA AZUCENA
DICTAMINADOR**



**40379481 - PAREDES SALAS OMAR WILLY
DICTAMINADOR**



Análisis de onda elemental para el control de vibraciones y selección de retardos en la zona geotécnica 4 del tajo sur de un yacimiento de tipo pórfido - skarn de cobre.

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	idoc.pub Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
6	idoc.tips Fuente de Internet	1%
7	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

A Juan y Carmen, mis padres, quienes me motivaron a no rendirme, mis hermanos Juan Diego, Lucía y Camila, quienes forjaron mis momentos más felices, a mis amigos de la universidad, con quienes aprendí a superar cada reto en la vida universitaria, a V.L. quien dejó mostrarme vulnerable y se mantuvo ahí en los peores momentos brindando cosas intangibles, tiempo, apoyo, lágrimas y aliento.



AGRADECIMIENTOS

A mi escuela profesional de Ingeniería de Minas y a todos los ingenieros que me formaron académicamente, por el conocimiento brindado para poder llegar a este punto y formarme profesionalmente.

A mis padres por todo el esfuerzo que hicieron para brindarme la oportunidad de seguir esta carrera profesional.

A mis amigos quienes me motivaron a seguir adelante.



RESUMEN

Se elaboro un estudio de onda elemental en respuesta a la problemática que acaecía en parte del sector del tajo sur, los altos niveles de ppv y las bajas frecuencias que se alcanzaban producto de las voladuras adyacentes en la zona geotécnica 4 conlleva a sufrir incrementos en las deformaciones acumuladas por semana de operación alcanzando desplazamientos críticos de hasta 224.70 cm.

El objetivo fue de poder replantear los tiempos aplicables en los diseños de voladura electrónica adyacentes hacia la zona geotécnica 4, además se propuso la implementación de la secuencia de salida “fila a fila” y “taladro a taladro” en los proyectos de voladura colindantes a zonas críticas que requieran una mejor canalización del tren ondas sin poner en riesgo estructuras geológicas sensibles a la vibración por voladura que terminen ocasionando desplazamiento de volúmenes considerables de material.

La metodología que se empleó fue la detonación de una onda semilla por proyecto de voladura de forma aislada (03 ondas elementales), cuya finalidad es generar un pulso de vibración únicamente del taladro de prueba para que se captado por medio de un sismógrafo instalado en la inmediación del proyecto de disparo y en zona de riesgo crítico. Estas datas, fueron analizadas con software sofisticados de voladura (Paradigm) para su análisis y desarrollo de iteraciones hasta lograr determinar el tiempo equilibrado que ayuden a disminuir el daño por vibración y frecuencias sin comprometer la fragmentación.

Mediante el estudio de onda elemental, se alcanzó a reducir e incrementar los niveles de vibración y frecuencia respectivamente hacia la zona geotecnia 4 producidas por voladuras contiguas en los niveles 3720, 3705, el cual se reflejó en la disminución de desplazamiento por deformación semanal lanzado por el área de geotecnia,

Se logró determinar los tiempos adecuados de 25 ms con tiempo ente filas de 150 ms para formaciones de caliza (CZ), 31 ms con tiempo entre filas de 120 incrementable hasta 150 ms para formaciones de Hornfels Caliza, ambos con frecuencias deseables de 14 Hz. Manifestando un control en el incremento de deformación para las semanas 41, 42 y 43 con valores de 195.5, 99.0 y 12.0 cm respectivamente desde la implementación de tiempos adecuados con la propuesta de diseño fila a fila, aminorando riesgos de activación y aparición de nuevas fallas inestabilidades en la zona geotecnia 4.

finalmente, la predicción de vibración que se llevó en la simulación del proyecto 1-08-3690-231, logró reducirse al emplear el doble filtro de control con la secuencia de detonación “fila a fila” y “taladro a taladro” tipo “v”. Combinar estas propuestas repercutirá favorablemente en la disminución de vibración por voladura en zonas sensibles.

Palabra clave: Vibraciones, Onda elemental, Movimiento ondulatorio, Frecuencia, Tiempo entre taladro, Tiempo entre filas.



ABSTRACT

The blasting area prepared an elemental wave study in response to the problems that occurred in part of the southern pit sector, the high levels of ppv and the low frequencies that were reached because of the adjacent blasting in the geotechnical zone. 4 led to increases in accumulated deformations per week of operation, reaching critical displacements of up to 224.70 cm.

The objective was to be able to rethink the applicable times in the adjacent electronic blasting designs towards geotechnical zone 4, in addition, the implementation of the "row by row" and "drill by drill" output sequence was proposed in the blasting projects adjacent to critical areas that require better channeling of the wave train without putting at risk geological structures sensitive to vibration due to blasting that end up causing the displacement of considerable volumes of material.

The methodology used was the detonation of a seed wave by blasting project in an isolated manner (03 elementary waves), whose purpose is to generate a vibration pulse only from the test drill to be captured by means of a seismograph installed in the vicinity of the firing project and in a critical risk area. These data were analyzed with sophisticated blasting software (Paradigm) for analysis and development of iterations until the balanced time was determined to help reduce damage due to vibration and frequencies without compromising fragmentation.

Through the elemental wave study, it was possible to reduce and increase the levels of vibration and frequency respectively towards the geotechnical zone 4 produced by adjacent blasting at levels 3720, 3705, which was reflected in the decrease in displacement due to weekly deformation launched by the geotechnics area,

It was possible to determine the appropriate times of 25 ms with time between rows of 150 ms for limestone formations (CZ), 31 ms with time between rows of 120 increasing to 150 ms for Hornfels Limestone formations, both with desirable frequencies of 14 Hz. Manifesting control in the increase in deformation for weeks 41, 42 and 43 with values of 195.50, 99.0 and 12 cm respectively from the implementation of adequate times with the row-by-row design proposal, reducing risks of activation and appearance of new failures instabilities in the geotechnical zone 4.

Finally, the vibration prediction carried out in the simulation of project 1-08-3690-231 was reduced by using the double control filter with the “row by row” and “drill by drill” type “v” detonation sequence.”. Combining these proposals will have a favorable impact on reducing vibration due to blasting in sensitive areas.

Keyword: Vibration, Elemental wave, Deformation.



INDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1.....	2
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION	2
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. Preguntas de Investigación	3
1.3.1. Problema General.....	3
1.3.2. Problemas Específicos	3
1.4. Líneas de Investigación a la que corresponde el Problema	3
1.5. Palabras Clave.....	3
1.6. Aporte del Desarrollo de la Tesis.....	3
1.7. Limitaciones.....	4
1.8. Ubicación del proyecto	4
CAPITULO 2.....	5
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1.1. Antecedentes Investigación.	5
2.1.1.1. Antecedentes Nacionales	5
2.1.1.2. Antecedentes Internacionales.....	7
2.2. Bases Teóricas	9
2.2.1. Mecanismo de fragmentación de la roca	9

2.2.1.1. Detonación	10
2.2.1.2. Propagación de la onda de choque.....	10
2.2.1.3. Expansión de gases	11
2.2.1.4. Movimiento del material.....	12
2.2.2. Vibraciones	13
2.2.3. Tipos de onda.....	14
2.2.3.1. Ondas internas.....	14
2.2.3.1.1. Ondas longitudinales, de compresión o principales (Ondas P).....	14
2.2.3.1.2. Ondas transversales, de cizalladura o secundarias (Ondas S).....	15
2.2.3.2. Ondas de superficie.....	15
2.2.3.2.1. Onda Rayleigh (Ondas R).....	15
2.2.3.2.2. Onda Love (Ondas L)	16
2.2.4. Propiedades básicas de las ondas	17
2.2.4.1. Frecuencia de vibraciones.....	17
2.2.4.2. Amplitud de vibraciones	17
2.2.4.3. Duración de vibración.....	18
2.2.4.4. Longitud de onda de vibración	19
2.2.4.5. Velocidad de propagación.....	19
2.2.5. Pérdida friccional de energía	19
2.2.6. Cambio de la frecuencia con la distancia.....	20
2.2.7. Predicción de niveles de vibración	21
2.2.7.1. Modelo de campo lejano.....	21
2.2.7.1.1. Modelo de Divine y Duvall.....	21
2.2.7.2. Onda elemental	23
2.3. Hipótesis	24
2.3.1. Hipótesis General.....	24
2.3.2. Hipótesis Específicas	24

2.4. Variables	24
2.4.1. Variable Independiente	24
2.4.2. Variable dependiente	25
2.4.3. Operacionalización de Variables	25
CAPITULO 3.....	26
3. MARCO METODOLOGICO.....	26
3.1. Alcances.....	26
3.1.1. Alcances.....	26
3.1.1.1. Alcance social	26
3.1.1.2. Localización temporal.....	26
3.2. Tipo y Diseño de la investigación.....	26
3.2.1. Tipo de la Investigación.....	26
3.2.2. Nivel de la investigación.....	26
3.3. Población y Muestra	26
3.3.1. Población.....	26
3.3.2. Muestra	27
3.4. Método, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	27
3.4.1. Método	27
3.4.2. Técnica.....	27
3.4.3. Instrumentos.....	27
3.4.4. Herramientas	28
3.5. Procesamiento de datos.....	28
CAPITULO 4.....	30
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	30
4.1. Análisis de ondas elementales para uso adecuado de tiempos de taladros y filas	30
4.1.1. Uso de la onda elemental para zona geotécnica 4.....	30
4.1.1.1. Onda elemental – Fase 8 – Proyecto 1-08-3720-137.....	31

4.1.1.1.1. Registro de onda elemental 1-08-3720-137	33
4.1.1.2. Onda elemental – Fase 8 – Proyecto 1-08-3705-142.....	36
4.1.1.2.1. Registro de onda elemental 1-08-3705-142.....	38
4.1.1.3. Onda elemental – Fase 8 – Proyecto 1-08-3705-143.....	39
4.1.1.3.1. Registro de onda elemental 1-08-3705-143.....	41
4.2. Filtro de precorte.....	43
4.2.1.1. Arreglo de prueba	43
4.2.1.2. Lectura de sismógrafo.....	44
4.3. Diseño de secuencia de salida.....	46
4.3.1. Diseño de buffer y precorte.....	46
4.3.2. Diseño habitual de secuencia de salida.....	47
4.3.3. Diseño de secuencia de salida “fila a fila”.....	51
4.4. Registros sísmicos en la zona geotécnica 4 sin tiempos óptimos	56
4.5. Registros sísmicos en la zona geotécnica 4 a partir de la implementación de tiempos adecuados.....	59
4.6. Desempeño de estabilidad de deformación en la zona geotécnica 4.	65
5. CONCLUSIONES	71
6. RECOMENDACIONES.....	72
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación zona geotécnica 4.	4
Figura 2. Expansión de gases.....	12
Figura 3. Movimiento de Material.	13
Figura 4. Movimiento de las partículas dentro de la onda P.....	14
Figura 5. Movimiento de las partículas dentro de la onda S.....	15
Figura 6. Movimiento de las partículas dentro de diferentes tipos ondas.....	16
Figura 7. Amplitudes de Onda, A1 y A2.	18
Figura 8. Onda completa de vibración.....	18
Figura 9. Estimación de la velocidad de propagación usando dos geófonos separados a 300 metros.....	19
Figura 10. Cambios de frecuencia con la distancia de propagación debido a la pérdida friccional ($Q = 30$, $V_p = 3500$ m/s).....	20
Figura 11. Registro de Ondas Elementales.....	24
Figura 12 Punto de Monitoreo Zona Geotecnica 4 – Distancias a taladros semilla.....	28
Figura 13. Diseño de secuencia de salida 1-08-3720-137.	32
Figura 14. Movimiento de material y Línea de isotiempo 1-08-3720-137.....	32
Figura 15. Vibración y frecuencia obtenida 1-08-3729-137- Sismógrafo 02.....	33
Figura 16. Vibración y frecuencia obtenida 1-08-3729-137- Sismógrafo 01.....	33
Figura 17. Simulación de tiempos a partir de la onda elemental del proyecto 1-08-3720-137 – Sismógrafo 02.	34
Figura 18. Simulación de tiempos a partir de la onda elemental del proyecto 1-08-3720-137 – Sismógrafo 01	34
Figura 19. Resultado de vpp y frecuencias con tiempos simulados de 23, 25, 29 y 150ms – Sismógrafo 02.	35
Figura 20. Resultado de vpp y frecuencias con tiempos simulados de 23, 25, 29 y 150ms – Sismógrafo 01.	35
Figura 21. Norma USBM puntos de velocidad debajo de la zona de daño (registro simulado) – Sismógrafo 02.....	35
Figura 22. Norma USBM puntos de velocidad debajo de la zona de daño (registro simulado) – Sismógrafo 01.....	36
Figura 23. Diseño de secuencia de salida 1-08-3705-142.	37
Figura 24. Movimiento de material y Línea de isotiempo 1-08-3705-142.....	37

Figura 25. Vibración y frecuencia obtenida 1-08-3705-142.....	38
Figura 26. Simulación de tiempos a partir de la onda elemental del proyecto 1-08-3705-142 – Sismógrafo 01.	38
Figura 27. Norma USBM puntos de velocidad debajo de la zona de daño (registro simulado) – 1-08-3705-142.....	39
Figura 28. Diseño de secuencia de salida 1-08-3705-143.	40
Figura 29. Movimiento de material y Línea de isotiempo 1-08-3705-143.....	40
Figura 30. Vibración y frecuencia obtenida 1-08-3705-143.....	41
Figura 31. Simulación de tiempos a partir de la onda elemental del proyecto 1-08-3705-143 – Sismógrafo 01.	41
Figura 32. Norma USBM puntos de velocidad debajo de la zona de daño (registro simulado) – 1-08-3705-143.....	42
Figura 33. Configuración de taladros de prueba – FPC.....	43
Figura 34. Registro de prueba 01.....	44
Figura 35. Resultados de vibración - Prueba 01.	44
Figura 36. Registro de prueba 02.....	44
Figura 37. Rampa 9 bloqueado por desprendimiento de gran volumen de material de la zona geotécnica 4.	45
Figura 38. Diseño de secuencia de salida habitual en pared final proyecto1-08-3690-231-A.	47
Figura 39. Acople de taladros 1-08-3690-231-A.....	48
Figura 40. Líneas de isotiempo proyecto1-08-3690-231-A.....	48
Figura 41. Movimiento de material proyecto1-08-3690-231-A.	48
Figura 42. Burden de alivio proyecto 1-08-3690-231-A.	49
Figura 43. Simulación de detonación 1-08-3690-231-A.	49
Figura 44. Halo de energía Precorte 1-08-3690-231-A.	50
Figura 45. Simulación de vibraciones 1-08-3690-231-A	50
Figura 46. Predicción de vibración de vibración 1-08-3690-231-A.	51
Figura 47. Diseño de secuencia con nuevo diseño en pared final proyecto1-08-3690-231-B.51	
Figura 48. Acople de taladros 1-08-3690-231-B.	52
Figura 49. Líneas de isotiempo proyecto1-08-3690-231-B.....	52
Figura 50. Movimiento de material proyecto1-08-3690-231-B.	53
Figura 51. Burden de alivio proyecto 1-08-3690-231-B.	53
Figura 52. Simulación de detonación 1-08-3690-231-B.....	54

Figura 53. Halo de energía Precorte 1-08-3690-231-B.	54
Figura 54. Simulación de vibraciones 1-08-3690-231-B.....	55
Figura 55. Predicción de vibración de vibración 1-08-3690-231-B	55
Figura 56. Registro de vibración 1-08-3735-211.....	56
Figura 57. Registro de vibración 1-08-3735-182.....	57
Figura 58. Registro de vibración 1-08-3720-135.....	57
Figura 59. Registro de vibración 1-08-3720-133.....	58
Figura 60. Registro de vibración 1-08-3720-147.....	59
Figura 61. Registro de vibración 1-08-3720-149.....	60
Figura 62. Registro de vibración 1-08-3705-144.....	60
Figura 63. Registro de vibración 1-08-3705-145.....	61
Figura 64. Análisis de PPV en zona geotécnica 4 Tajo Sur.....	62
Figura 65. Análisis de frecuencias Zona geotécnica 4 Tajo Sur.....	63
Figura 66. PPV & Frecuencia sin Tiempos Óptimos.....	64
Figura 67. PPV & Frecuencia con Tiempos Óptimos.....	64
Figura 68. Conciliación geotécnica de taludes - Semana 36.	65
Figura 69. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 37.....	66
Figura 70. Conciliación geotécnica de taludes – SEM 38.	66
Figura 71. Conciliación geotécnica de taludes – SEM 39.	67
Figura 72. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 40.....	67
Figura 73. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 41.....	68
Figura 74. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 42.....	68
Figura 75. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 43.....	69
Figura 76. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 45.....	69
Figura 77. Comportamiento de deformación entre la semana 36 hasta la semana 45.	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de Operacionalización de Variables.....	25
Tabla 2. Diseño de carga proyecto de voladura 1-08-3720-137.....	31
Tabla 3. Taladro de prueba OE – ID 2141.....	32
Tabla 4. Diseño de carga proyecto de voladura 1-08-3705-142.....	36
Tabla 5. Taladro de prueba OE – ID 2141.....	37
Tabla 6. Diseño de carga proyecto de voladura 1-08-3705-143.....	39
Tabla 7. Taladro de prueba OE – ID 2141.....	40
Tabla 8. Resumen de tiempos entre taladros y filas con frecuencias requeridas.....	42
Tabla 9. Resultados de vibración - Prueba 02.....	45
Tabla 10. Cuadro resumen de prueba de filtro de Precorte.....	45
Tabla 11 Diseño de precorte.....	46
Tabla 12 Diseño de Buffer.....	47
Tabla 13. Niveles de vibración sin aplicar tiempos óptimos.....	58
Tabla 14. Niveles de Frecuencia sin aplicar Tiempos Óptimos.....	58
Tabla 15. Niveles de frecuencia aplicando tiempos adecuados.....	61
Tabla 16. Niveles de frecuencia aplicando tiempos adecuados.....	61

INTRODUCCION

El propósito del presente estudio es desarrollar y entregar soluciones técnicas que generen valor en el proceso integral de explotación y beneficio de mineral, a través del desarrollo de ingeniería avanzada y la aplicación de esta. Desde una perspectiva integral, las actividades y operaciones del proceso global de explotación y beneficio de minerales están intrínsecamente relacionadas. En efecto, mejores resultados en voladura permiten aumentar la productividad en las operaciones subsiguientes de extracción y en la etapa de conminución y liberación de la partícula mineral. Contar con factores propios y característicos del medio evaluado in situ, permite generar herramientas predictivas que entregan referentes del resultado e impacto generado en el macizo rocoso por determinada configuración de perforación y voladura.

Basándose en este principio, el presente plan de trabajo apunta a desarrollar un estudio que genere herramientas que permitan estimar resultados e impactos de voladuras en relación con el diseño, su impacto en la estabilidad y la condición de los taludes asociados al nivel de vibraciones, como también el nivel de frecuencias en el campo lejano. Esta herramienta es confeccionada mediante parámetros, configuraciones y modelos determinados en base a mediciones de campo representativas de cada UGG. De este modo, podrá desarrollarse una estrategia de trabajo con la que es posible simular y estimar resultados generados por diferentes configuraciones de perforación y voladura, a fin de minimizar el grado de perturbación e impacto en el macizo rocoso de las vibraciones inducidas.

CAPITULO 1

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del Problema

En la zona norte del tajo sur se ha acumulado una deformación de 80 cm post voladura, debido a frecuencias de oscilación en un rango de 6 a 8 Hz y velocidades de partículas altas, Esta particularidad encendió las alarmas a las distintas áreas que están directamente involucrados con el monitoreo y control de vibraciones debido al potencial de daño que representa. Según el historial de diseños de tiempos aplicados para las voladuras cercanas o adyacentes a la zona en mención, el tiempo de retardo aplicado varía entre 9 ms a 11ms entre taladros y tiempo entre filas de 120 ms.

Los daños ocasionados en los taludes de la zona geotécnica 4 del tajo sur, está provocando deslizamientos de material y caída de rocas hacia bancos inferiores, afectando parte de la rampa auxiliar 9 y obstaculizando el tránsito de equipo gigante, auxiliar y liviano por el bloqueo parcial de esta vía, puesto que es la única vía de ingreso y salida de todo equipo móvil que transita dentro de la operación.

Como las vibraciones manifiestan campos de esfuerzos inducidos a causa de la detonación de cargas explosivas, estas vienen afectando a estructuras y fallas que se encuentran en el área de la zona geotécnica 4. Debido a que los tipos de diseño que se vienen aplicando no son recomendable para el sector, considerando la sensibilidad y cuidado que se debe tener, además del empleo de tiempos no parametrizados en función a su tipo de roca.

Mediante el estudio de onda elemental se pretende calcular los tiempos de secuencia de salida apropiados; se buscará la minimización de daño por voladuras cercanas a la zona geotécnica 4, aumentando frecuencias y disminuyendo vibraciones, de tal forma que se evite la continua activación de fallas en la zona geotécnica 4.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Determinar la influencia del análisis de onda elemental para el control de daño estructural provocado por voladuras con bajas frecuencias y altas vibraciones en la zona geotécnica 4 del tajo sur - de un yacimiento de tipo porfido – skarn de cobre.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar los tiempos óptimos empleables en la secuencia de salida que consolide frecuencias altas y vibraciones bajas.
- Reducir el daño ocasionado por voladura en la zona geotécnica 4.
- Estabilizar la deformación activa post voladura generada en la zona geotécnica 4.
- Evaluar la importancia de la implementación de un nuevo diseño de secuencia de tiempos que disminuya el daño a las paredes de la zona geotécnica 4.

1.3. Preguntas de Investigación

1.3.1. Problema General

- ¿Cómo influye el análisis de onda elemental y la selección de retardos para el control de vibraciones en la zona geotécnica 4 del Tajo Sur – de un yacimiento de tipo porfido – skarn de cobre?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los tiempos de retardo óptimos empleables en la secuencia de salida que consolide vibraciones mínimas?
- ¿Cómo reducir el daño ocasionado por voladura en la zona geotécnica 4?
- ¿De qué manera, los tiempos establecidos por las ondas elementales logran estabilizar la deformación post voladura generada en la zona geotécnica 4?
- ¿Por qué es importante la implementación de un nuevo diseño de secuencia de salida que disminuya el daño a las paredes de la zona geotécnica 4?

1.4. Líneas de Investigación a la que corresponde el Problema

La optimización de los procesos mineros es la línea en la que se enmarca el estudio.

1.5. Palabras Clave

Vibraciones, Onda elemental, Movimiento ondulatorio, Frecuencia, Tiempo entre taladro, Tiempo entre filas.

1.6. Aporte del Desarrollo de la Tesis

La operación depende en gran medida de garantizar la estabilidad de la zona geotécnica 4, y la investigación realizada sólo es útil para la zona geotécnica evaluada.

El presente estudio servirá como referencia para estudios de onda elemental dentro de la operación y otras unidades, así mismo, ayudará a ampliar la bibliografía relacionada al estudio de vibraciones en minería

Para tal efecto, el estudio proporcionara los tiempos adecuados que se deben considerar en los diseños de secuencia de salida para proyectos de voladura próximos a la zona geotécnica 4, el cual contempla su cuidado y disminución de impacto de daño hacia ella. Además, de componer el tiempo adecuado con la nueva secuencia de salida, con el interés de engrosar la conservación y preservación de la zona geotécnica 4 orientado a conseguir frecuencias de vibraciones altas y velocidades pico de partículas bajas.

En ese entender, es posible controlar el daño a zonas sensibles con potencial de desplazamiento siempre y cuando se considere los tiempos adecuados y las secuencias de salida no sean direccionadas a estos puntos a controlar.

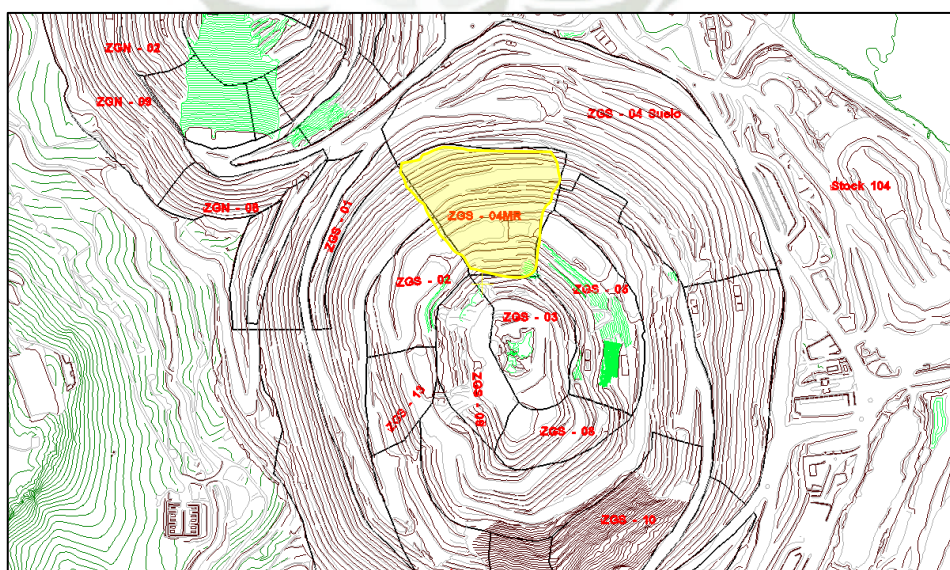
1.7. Limitaciones

Falta de disponibilidad de bibliografía en relación con estudios de onda elemental de la unidad minera.

Difícil acceso a información geotécnica y empleo de datos técnicos.

1.8. Ubicación del proyecto

Figura 1. Ubicación zona geotécnica 4.



Nota: Planeamiento mina

CAPITULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1.1. Antecedentes Investigación.

2.1.1.1. Antecedentes Nacionales

Ned Yamile Vásquez Sánchez (2017) “*Predicción de la ley atenuación, frecuencia dominante y espectro de respuesta en vibraciones producidas por voladuras a cielo abierto*”, Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

En este proyecto de fin de carrera se describe y analiza la investigación exhaustiva de las vibraciones que fueron generadas por diferentes voladuras en el proyecto «Tercer juego de esclusas», realizado en una nueva ampliación del Canal de Panamá. Se combinan los datos procedentes de la monitorización de siete sismógrafos durante diez voladuras de producción en 2010 para crear un total de cincuenta y tres grabaciones.

Las conclusiones de la investigación fueron las siguientes:

En cuando a los análisis de las leyes de atenuación que se generaron para las dos agrupaciones de voladuras, se concluye que la detonación a lo que llamados onda semilla producen mayores niveles de vibraciones comparando con otras voladuras sin la presencia de estos (con taladros que cuentan con cara libre), esta característica se ve reflejado en el desplazamiento superior de la ley estimada ($KN^{\circ}1-N^{\circ}4 > KN^{\circ}5-N^{\circ}10$).

Examinando la ecuación matemática de la ley de atenuación del suelo, puede concluirse que la velocidad pico de la partícula (VPP) es inversamente proporcional a la distancia (D) y directamente proporcional a la mayor carga instantánea.

Bobadilla Velásquez, Yosselyn Talhia (2016) “*Modelamiento predictivo de vibraciones en campo lejano para el control de daño en chancadora primaria y poza pop en la unidad minera lagunas norte*”, Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.

Las simulaciones de modelado y voladura se realizaron con el programa Shotplus de Orica Mining Services, con cargas variables por retardo. Se realizó un total de 109 pruebas de campo para comparar y contrastar la simulación, combinando los resultados obtenidos de cada prueba individual.

Las conclusiones de esta investigación fueron las siguientes:

Dado que el modelo de vibraciones del método Monte Carlo tiene en cuenta las cargas, los tiempos, la secuencia y la información geo estructural mediante la onda elemental, es evidente que este modelo es una herramienta eficaz para la predicción de vibraciones.

Según Ábaco, para una distancia de la voladura a la Poza POP de 150 m con el diseño actual y con carga de 324 Kg. se generaría 13.5 mm/s. Si incrementamos la carga explosiva manteniendo la distancia, las vibraciones incrementan y pasan los LMP.

Según Ábaco, para una distancia de la voladura a la Chancadora de 140 m con el diseño actual y con carga de 285 Kg. se generaría 14.48 mm/s. Si incrementamos la carga explosiva manteniendo la distancia, las vibraciones incrementan y pasan los LMP.

Soncco Marron, Jose A (2020) “*Conciliación geotécnica de taludes en sociedad minera Cerro Verde S.A.A*”, Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

Todas las áreas operativas se benefician del desarrollo de la mina, por lo que las mejoras del área geotécnica incluyeron la implantación de la reconciliación geotécnica. En cuanto a análisis de los resultados de la conciliación geotécnica, estos nos ayudan a poder evaluar y tener una mejor viabilidad para dar opciones de optimización en cuanto a los ángulos de las caras de los bancos, las bermas y las limpiezas de los bancos. También ofrecen un medio fiable para evaluar la geometría final del banco que se alcanza en el talud de cada fase a lo largo de la vida útil de la mina.

Mediante la conciliación geotécnica de taludes es posible determinar los sectores de taludes con los mejores resultados en cuanto al estado geotécnico del diseño del banco en relación con la topografía final. El resultado inmediato para la operación es que se implementó una mejor gestión del riesgo con el fin de maximizar los resultados finales de la pared del banco. Esto implicó la adopción de trabajos adicionales para mejorar las técnicas de voladura y perforación, mejores procedimientos operativos para el perfilado con pala, la limpieza del banco y la maximización de la cobertura de la monitorización geotécnica con registros más frecuentes en los instrumentos de monitorización. La recuperación del mineral extraído de forma segura del tajo se hace más eficaz gracias a un diseño óptimo del banco y a los resultados topográficos finales.

Castillo Torres, Edwin Marco (2021) “*Análisis de onda elemental para el control de vibraciones en la pared estede la cantera en mina Toromocho*”, Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Cuando se evalúan la distancia de control en metros y el VPP resultante, los resultados muestran que la mayoría de las voladuras registradas están por debajo del grupo II. Cuando se compara con el diseño de la Norma Española, este es un resultado favorable y beneficioso para la empresa minera, ya que reduce los daños que se pueden causar en el interior de la cantera. La reducción de los daños causados por las voladuras en la pared este de la cantera de la Mina Toromocho se debe a los retardos que generan una menor amplificación.

El cuarto objetivo particular establece que la cantidad de tiempo que transcurre entre taladros determina en qué medida se reducirá el nivel de vibración en la pared Este de la Cantera de la Mina Toromocho mediante voladuras. Utilizando retardos más pequeños (6-8 ms) para su amplificación, 10 taladros que producían cargas de 120 kg a 389 m con un diámetro de 7 7/8 pudieron explicar cómo se producía una reducción del nivel de vibración. Esto fue posible gracias a los retardos utilizados entre los taladros.

2.1.1.2. Antecedentes Internacionales

Díaz Leiva, Mauricio Alejandro (2021) *“Modelo predictivo de daño inducido por vibraciones originadas de tronadura en campo cercano y lejano en minera los pelambres”*, Tesis de pregrado. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

El estudio del efecto de las vibraciones producidas por la tronadura tanto en campo cercano y campo lejano, cómo éstas afectan al macizo rocoso circundante situado en Minera Los Pelambres para las fases 7, 9, 10 y 11, considerando en campo cercano las unidades geotécnicas (en adelante UGT 1, 2, 3, 5, 6 y 9) respectivamente.

Las conclusiones de la investigación fueron las siguientes:

Se determina que, con respecto a los modelos de campo lejano, el modelo que tiene en cuenta la variable explosiva describe mejor la voladura de Minera Los Pelambres. Además, se observa en el comportamiento de las curvas de la Ilustración 20 que los explosivos de mayor intensidad producen mayores niveles de vibraciones, como en el caso del Vertex 950, y los de menor intensidad producen menores niveles de vibraciones, como en el caso del Vertex 930.

La fase 7 es la fase que, en teoría, está formada principalmente por el UGT 1, y es también la fase que se encuentra a mayor profundidad en la mina que la fase 9, que es una de las fases superiores. Estas conclusiones se basan en un análisis del modelo de campo lejano y sus fases, como se muestra en la figura 21.

Bravo Sánchez, Isidora Loreto (2018) “*Estudio de vibraciones inducidas por tronadura en Minera Spence*”, Tesis de pregrado. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Este documento evalúa el estado actual de Minera Spence utilizando un modelo de daños críticos PPV calibrado para el macizo rocoso. También identifica las principales regiones de daños y desarrolla una nueva técnica de diseño para la gestión de daños por vibraciones basada en la metodología existente. Al elaborar el diseño, se tienen en cuenta los criterios geotécnicos y operativos que optimizan el beneficio neto de la mina, es decir, producir daños que sean aceptables al tiempo que se adquiere la fragmentación necesaria para el siguiente paso del proceso.

A continuación, se presenta un estudio de coste-beneficio que compara el entorno operativo existente con el escenario sugerido basado en los tres pilares de BHP: productividad, seguridad y cultura. El resultado final de este esfuerzo fue la preparación de un concepto de diseño de voladura que permitiría la reducción de alrededor del 35% de los deslizamientos en el tamaño del banco, proporcionando al mismo tiempo una ventaja anual de al menos 1,21 [MUS\$]. Las principales modificaciones para el tipo de roca objeto de estudio incluyen: Incrementar el factor de carga lineal para alturas superiores a 1610; y - Una distancia de la línea de amortiguamiento de 2 metros a la pata del talud. El factor de carga lineal se aumenta de 2,3 m a 3 m manteniendo F. Extra 50. - Opción estándar para alturas superiores a 1610, sin precorte. Para alturas inferiores a 1610, cambio de explosivo a Flexigel 110 con un factor de carga lineal de 2 metros.

Martinez Solano, Juan David (2019) “*Determinación y análisis de las vibraciones producidas por las voladuras realizadas en mina de extracción de oro ubicada en le municipio de Buritica Antioquia*”, Tesis de pregrado. Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia.

El presente proyecto permite visualizar el proceso de monitoreo de las vibraciones producidas por las explosiones propias de un proyecto minero ubicado en el municipio de Buritica Antioquia, dicho monitoreo está siendo realizado por la empresa K-2 Ingeniería S.A.S. y el objetivo principal de este es corroborar que estas vibraciones no están causando ningún efecto en las comunidades aledañas al lugar expuesto.

Las conclusiones de la investigación fueron las siguientes:

Para el análisis de las vibraciones se utiliza la línea 3 (el límite más bajo permitido) de la norma alemana DIN 4150-3, ya que los edificios de las comunidades próximas a la explotación minera están sometidos a vigilancia y es necesario mantener su estructura física.

Cinco (5) estaciones debían llevar a cabo la supervisión de las vibraciones al inicio del proyecto. Una de estas estaciones, la estación G, debía estar situada en la casa de un miembro de la comunidad que vivía cerca de la mina; sin embargo, debido a problemas con el propietario de la casa, la estación G se trasladó a la estación F. Además, se añadió la estación D dentro del túnel de la mina.

Monte Parra, Ignacio Andres (2020) “*Análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el método de elementos finitos*”, Tesis de pregrado. Universidad de Concepción, Santiago, Chile.

En el presente estudio se analizan dos ejemplos de taludes rocosos de la provincia de Concepción. El talud A es estable, mientras que el talud B presenta un colapso de material en forma de cuña. Los dos casos presentan requisitos de estabilidad distintos. Con el fin de averiguar la causa del desprendimiento en el talud B, la investigación pretende recrear numéricamente las circunstancias reales de ambos taludes. Los resultados se interpretarán y compararán con las características observadas sobre el terreno.

Las condiciones de estabilidad de ambos taludes quedan demostradas por el análisis de elementos finitos mediante la técnica SSR, con factores de seguridad superiores a 1. Esto no se corresponde con las circunstancias sobre el terreno del talud B y su derrumbe en cuña.

Es posible deducir de la distribución del factor de resistencia que la inestabilidad resultante de la superación de obstáculos es escasa o nula; en cambio, los casos localizados de inestabilidad pueden estar relacionados con discontinuidades o errores de cálculo.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Mecanismo de fragmentación de la roca

La fragmentación de rocas por voladura se produce cuando se utiliza un explosivo y se provoca la reacción de la masa rocosa circundante. Este proceso incorpora varios parámetros como el tiempo, la energía termodinámica, las ondas de presión, la mecánica de la roca y otros elementos. La interacción entre estos componentes se produce rápidamente y de forma complicada. (EXSA , 2012, pág. 17).

El proceso de fragmentación de rocas por la explosión de cargas explosivas puede clasificarse en cuatro etapas distintas.

2.2.1.1. Detonación

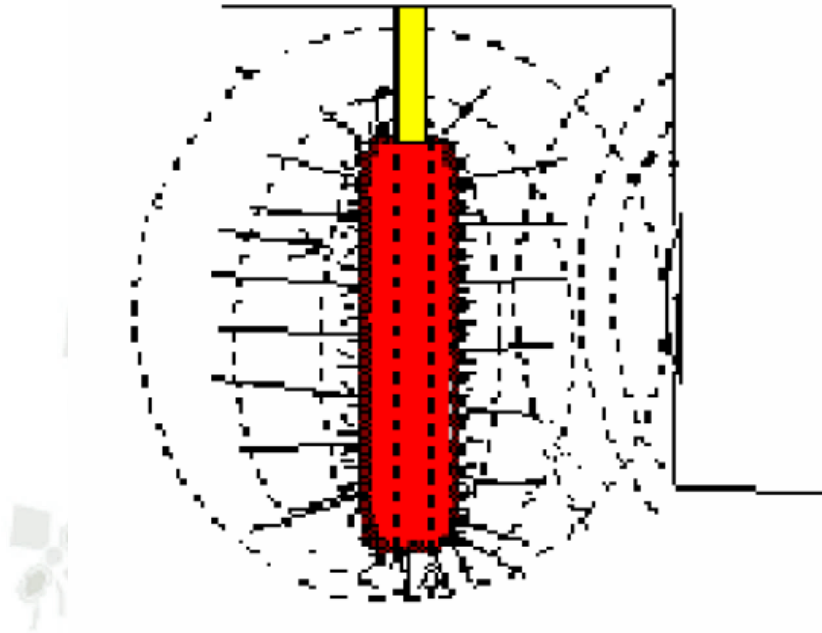
La primera etapa de un proceso de fragmentación implica la rápida conversión de los componentes fundamentales de un explosivo (combustible y comburente) en gases en condiciones de alta presión y temperatura. Muy próxima a una reacción nuclear, la detonación es la reacción química más rápida que se conoce en la actualidad. Las presiones generadas por el frente de detonación en los explosivos comerciales oscilan entre unos 2000 MPa (20 kbar) y 27500 MPa (275 Kbar). La presión de detonación, a veces denominada presión de explosión, viene determinada principalmente por la densidad y la velocidad de detonación (VOD) del explosivo. (ENAEX, 2014, pág. 12).

Cuando detonan los explosivos, las moléculas de gas iniciales se mueven a una velocidad tan alta que no transfieren su calor por conductividad a la parte inalterada del explosivo. En su lugar, transfieren el calor por choque, provocando una deformación y un calentamiento adiabático, lo que da lugar a una explosión y a la creación de nuevos gases. El proceso se repite con un movimiento ondulatorio que afecta a toda la masa del explosivo y que se denomina «onda de choque». Esta onda viaja a velocidades que oscilan entre 1.500 y 7.000 m/s, dependiendo de la composición del explosivo y de las circunstancias iniciales. (EXSA, 2012, pág. 11)

2.2.1.2. Propagación de la onda de choque

La transmisión de la onda de choque y de tensión a través de la formación rocosa. La perturbación, también conocida como onda de presión, que viaja a través de la masa rocosa está causada por la rápida expansión del gas y las altas presiones. Esto provoca el impacto de la pared de la perforación y la generación de la presión de detonación. La forma de la dispersión está influida por muchos elementos, incluida la posición del punto o puntos de inicio de la VOD y la velocidad de la onda de choque en la roca. Normalmente, los fallos por compresión, tracción y cizallamiento se producen en una región de material pulverizado próxima a la carga explosiva, ya que es allí donde la energía de la onda es máxima. A medida que el frente de onda se propaga, hay una propensión a comprimir el material cercano al borde de ataque de la onda. (ENAEX, 2014, pág. 13).

Figura 2. Propagación de la Onda de Choque.

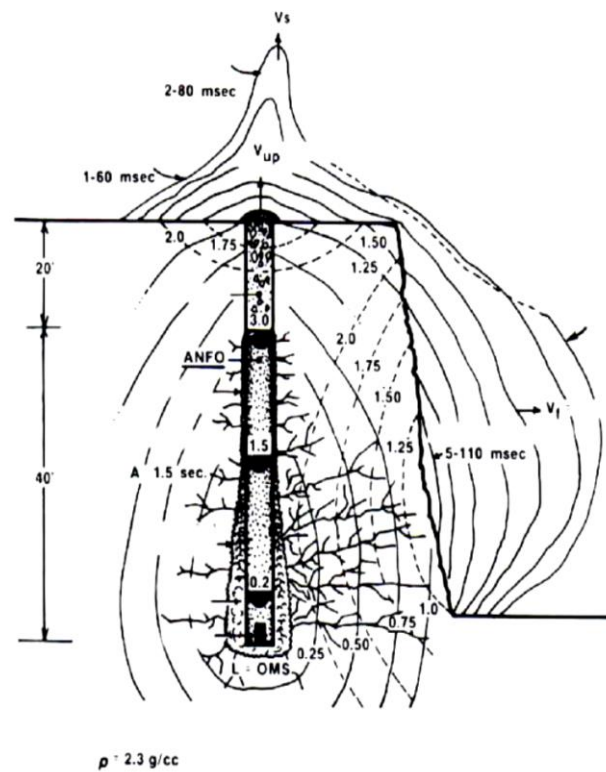


Nota: Manual de Tronadura Enaex, (2014).

2.2.1.3. Expansión de gases

La energía del gas que es generada durante la detonación del explosivo es la principal causa para generar fragmentación en rocas cuando se utilizan cargas restringidas en el barreno de voladura. La presión de los gases, a menudo conocida como presión de explosión, se refiere a la fuerza ejercida por los gases en expansión sobre las paredes de un barreno de voladura una vez finalizada la reacción química. La presión de explosión viene determinada por la cantidad de gases liberados por unidad de masa de explosivo y la cantidad de calor emitida durante la reacción. A medida que aumenta la temperatura, también lo hace la presión de los gases. Si se emite una mayor cantidad de gas en las mismas condiciones de temperatura, la presión aumentará proporcionalmente. (Konya, 1998, pág. 15).

Figura 2. Expansión de gases

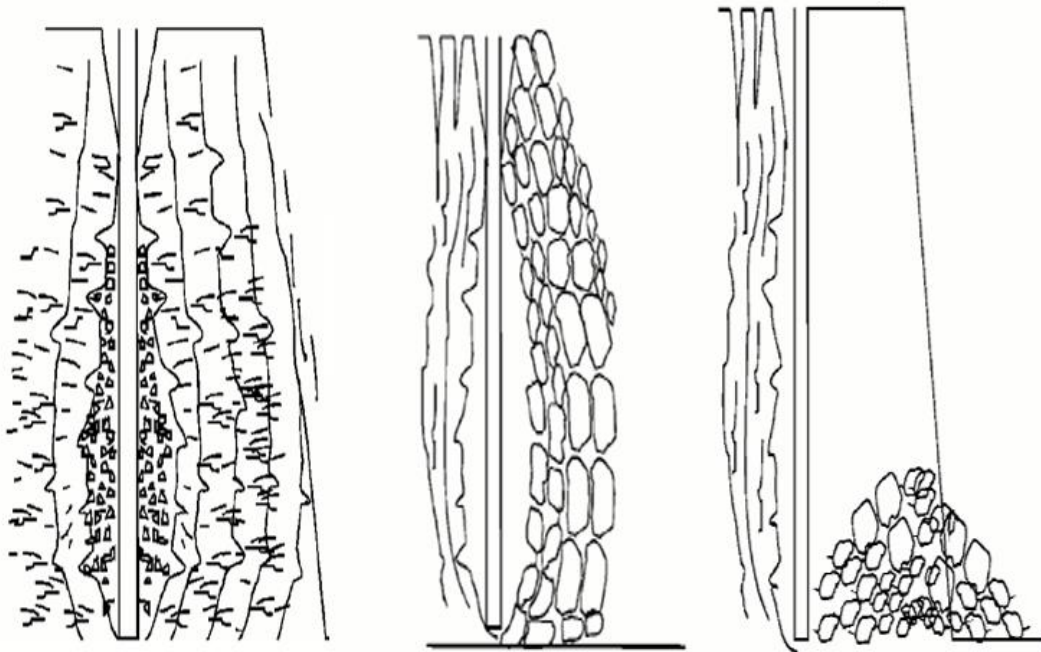


Nota: Manual de Tronadura Enaex, (2014).

2.2.1.4. Movimiento del material

El último paso del proceso de voladura La mayor parte de la fragmentación ya se ha logrado mediante la propagación de ondas de compresión y de tensión, la presurización del gas o una combinación de ambas. No obstante, se produce un cierto nivel de fragmentación cuando chocan objetos volantes y cuando el material entra en contacto con la tierra. Normalmente, a medida que aumenta la altura del banco, también aumenta la fragmentación porque las piezas individuales descienden al suelo del banco con mayor velocidad. Del mismo modo, cuando se expulsa material de dos filas dispuestas en forma de V y luego chocan en la atmósfera, puede producirse un mayor grado de fragmentación. Este fenómeno se registró con una cámara de alta velocidad durante la voladura del banco. (ENAEX, 2014, pág. 14).

Figura 3. Movimiento de Material.



Nota: Manual de Voladura Exsa, (2000).

2.2.2. Vibraciones

Las rocas se ven afectadas por las ondas sísmicas, que provocan movimientos de las partículas en varias direcciones. La intensidad de estos movimientos viene determinada por la energía del explosivo y la geometría de la situación. (Scherpenisse, 2009, pág. 3).

Las actividades mineras generan vibraciones debido al rápido aumento de la presión en el interior de la perforación, lo que da lugar a la formación de tensiones dinámicas en la roca circundante. Estas tensiones producen ondas de tensión que se propagan hacia el exterior de la perforación de forma concéntrica. La amplitud de esta onda oscilante disminuye a medida que se propaga más lejos, ya que la energía transferida al material sólido tiene que repartirse por una región en progresiva expansión. (Sanchidrián Blanco & Muniz Hevia, 2000, pág. 143).

Los profesionales que trabajan con explosivos industriales deben poseer un conocimiento exhaustivo de la formación y propagación de las vibraciones. Este conocimiento es crucial para salvaguardar las regiones sensibles de la mina y su infraestructura, así como para proteger las estructuras artificiales próximas a la mina. Además, es necesario para cumplir las obligaciones reglamentarias o contractuales. (Herrera Solis, 2013, pág. 20)

2.2.3. Tipos de onda

Se sabe que ecuaciones de las ondas elásticas son insuficientes para explicar plenamente las vibraciones causadas por la detonación de explosivos, que se caracterizan por cuestiones como la atenuación, la dispersión, los cambios en la longitud de onda y la superposición de ondas, es importante reconocer que estas ecuaciones siguen siendo el modelo simplificado más eficaz de que se dispone actualmente para analizar este fenómeno. Para el estudio de las vibraciones causadas por la detonación de explosivos, nos centraremos únicamente en la transmisión de ondas en la zona exterior o elástica alrededor del taladro. En esta zona, las únicas ondas importantes son las ondas elásticas de baja energía. (Pascual de Blas, 2000, pág. 3).

Básicamente podemos agrupar los tipos de ondas elásticas en dos grupos, a saber:

2.2.3.1. Ondas internas

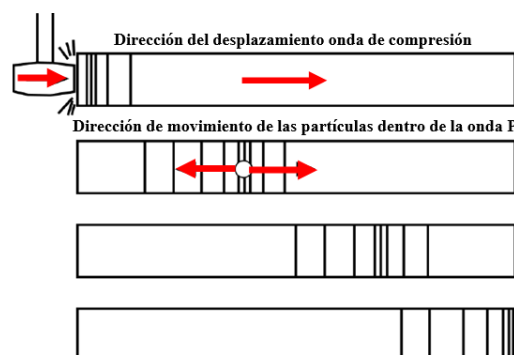
Se denominan así porque atraviesan la parte interior de la formación rocosa. Entre ellas se algunas como:

2.2.3.1.1. Ondas longitudinales, de compresión o principales (Ondas P)

La onda con mayor velocidad es la responsable de deformar volumétricamente la roca en la dirección en que se desplaza. Para demostrar el movimiento de las partículas en una onda P, examinemos el ejemplo de una varilla de acero golpeada en un extremo. Esto hace que las partículas de la varilla oscilen de un lado a otro a medida que el impulso de compresión viaja a través de la varilla. En otras palabras, las partículas se dirigen en un movimiento unidireccional en función a la propagación de la onda. (Vasquez Sanchez, 2013, pág. 7)

El movimiento de la onda P se ilustra en la figura 4.

Figura 4. Movimiento de las partículas dentro de la onda P



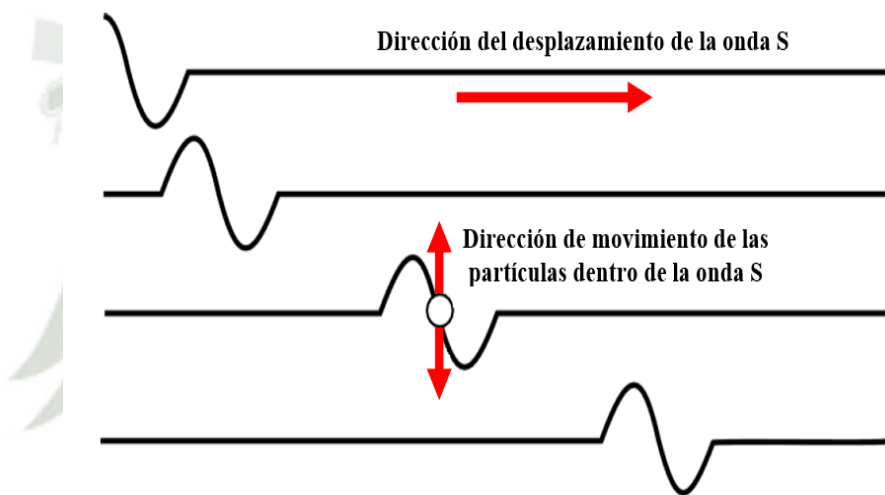
Nota: Vasquez Sanchez, (2013).

2.2.3.1.2. Ondas transversales, de cizalladura o secundarias (Ondas S)

Tras la onda P, se propaga la onda S. Esta onda induce una distorsión en la masa rocosa que es perpendicular (transversal) a la dirección en la que viaja, manteniendo el volumen de los materiales que atraviesa. El movimiento de las partículas en una onda S puede mostrarse agitando una cuerda desde un extremo, haciendo que la onda se desplace por la cuerda. Sin embargo, las partículas dentro de la onda se mueven en una dirección perpendicular al desplazamiento de la onda. (Vasquez Sanchez, 2013, pág. 8).

El movimiento de la onda P se ilustra en la figura 5.

Figura 5. Movimiento de las partículas dentro de la onda S.



Nota: Vasquez Sanchez, (2013).

2.2.3.2. Ondas de superficie

Se denominan así porque se desplazan a lo largo del límite entre dos sustancias diferentes, como la superficie de la tierra que divide la roca del aire.

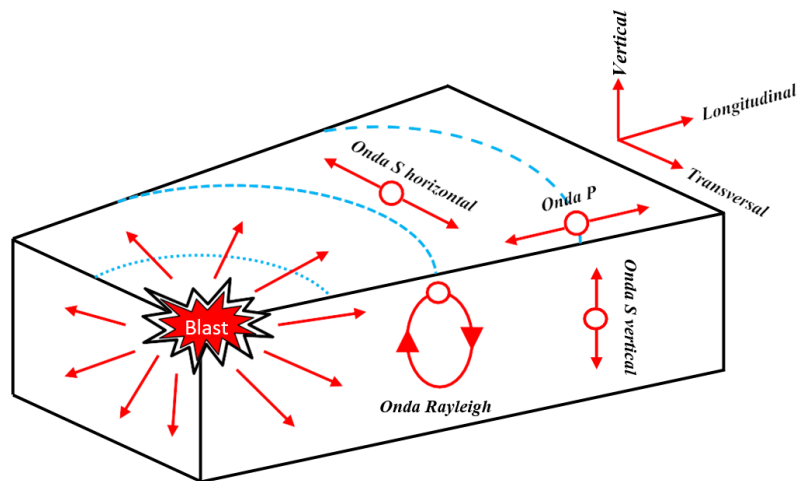
2.2.3.2.1. Onda Rayleigh (Ondas R)

Su nombre procede de Lord Rayleigh, pionero en su investigación. La velocidad de propagación de esta onda es aproximadamente el 90% de la velocidad de las ondas S, y también presenta amplitudes y longitudes mayores en comparación con las ondas P y S. Las partículas del interior de la onda se desplazan siguiendo un patrón elíptico retrógrado en un plano vertical, en la misma dirección que la propagación de la onda. (Vasquez Sanchez, 2013, pág. 9)

2.2.3.2.2. Onda Love (Ondas L)

Las ondas de amor son un tipo diferente de ondas superficiales que presentan una oscilación elíptica en un plano horizontal, comparable a la de las ondas de Rayleigh. Su velocidad es comparable a la de las ondas de Rayleigh. (Vasquez Sanchez, 2013, pág. 9).

Figura 6. Movimiento de las partículas dentro de diferentes tipos ondas.



Nota: Vasquez Sanchez (2013).

La onda P tiene la mayor velocidad, superando significativamente la velocidad de la onda S (que oscila entre el 50 y el 60% de la velocidad de la onda P). Además, la velocidad de las ondas P es algo más rápida que la de las ondas R (alrededor del 90% de la velocidad de las ondas S). La velocidad de las ondas P oscila entre 1.500 y algo más de 6.000 m/s en la mayoría de las rocas. Sin embargo, si la roca está desgastada o tiene muchas grietas, la velocidad puede ser menor. En los suelos, la velocidad oscila entre 150 y unos 1300 m/s. (Sanchidrián Blanco & Muniz Hevia, 2000, pág. 151).

Las ondas P pueden propagarse a través de medios sólidos, líquidos o gaseosos debido a la resistencia inherente de estos materiales a la compresión o a los cambios de volumen. En cambio, las ondas S sólo se propagan a través de sólidos, ya que su presencia depende de los módulos de cizallamiento o de la capacidad del material transmisor para soportar cambios de forma. Tanto las ondas P como las S se propagan siguiendo una trayectoria esférica desde el cráter, atravesando el interior de los materiales. En consecuencia, estas ondas también se denominan ondas de cuerpo. (Contreras Perez, 2009).

2.2.4. Propiedades básicas de las ondas

Los parámetros de vibración son atributos esenciales del movimiento que se utilizan para caracterizar la naturaleza del movimiento del terreno. Cuando la partícula se desplaza y experimenta movimiento, adquiere una velocidad y es capaz de aplicar una fuerza, que es directamente proporcional a la aceleración de la partícula. (Bravo Sánchez, 2018, pág. 18).

2.2.4.1. Frecuencia de vibraciones

La frecuencia de las vibraciones corresponde a la velocidad a la que la onda que se propaga completa un ciclo completo de compresión y tensión en un segundo. La magnitud de la carga es un factor determinante en esta cuestión, ya que las columnas de carga más grandes suelen dar lugar a frecuencias más bajas. Además, son aspectos significativos para considerar los módulos de la roca y la relación de carga resultante de la explosión, es decir, la velocidad de detonación. (CINTEX, 2005, pág. 11).

Normalmente, las ondas de vibración detectadas lejos tienen frecuencias más bajas en comparación con las detectadas cerca. Es fundamental comprender que una onda con una frecuencia solitaria, que viaja en un medio uniforme, conserva su frecuencia de forma constante a lo largo de todo su recorrido, independientemente del tipo de roca que encuentre. La observación de que las ondas detectadas a mayores distancias presentan frecuencias más bajas en comparación con las detectadas a distancias más cortas proporciona pruebas de que las ondas de vibración incluyen un amplio espectro de frecuencias, debilitándose selectivamente las ondas de alta frecuencia, lo que da lugar a un predominio de componentes de baja frecuencia en el espectro. (CINTEX, 2005, pág. 11).

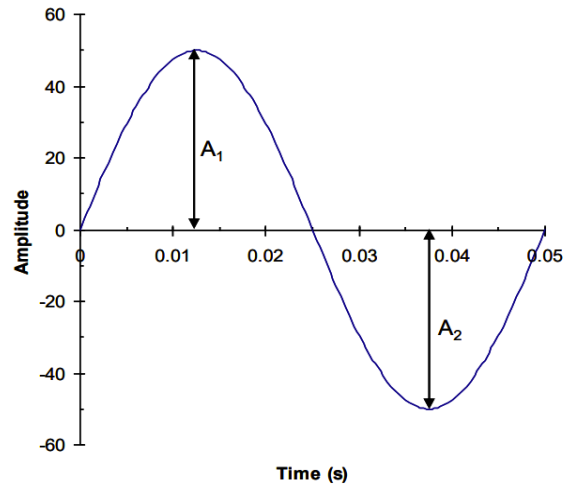
2.2.4.2. Amplitud de vibraciones

La amplitud de una vibración es una medida cuantitativa de su intensidad, a veces denominada «fuerza». Además, la energía de una onda de vibración es directamente proporcional al cuadrado de su amplitud. Para una vibración continua con ciclos de propagación idénticos, un solo número, como A1 o A2, basta para indicar la intensidad o amplitud de la vibración. El signo de las amplitudes sólo revela la dirección del movimiento de las partículas. (CINTEX, 2005, pág. 32).

Cabe señalar que, al medir las vibraciones en masas rocosas, no se distingue entre amplitudes positivas y negativas (A1 y A2, figura 7). En su lugar, sólo se representan como valores positivos o su valor absoluto. Cuando las amplitudes de una onda de vibración

fluctúan de un ciclo a otro, existen numerosas opciones para caracterizar la amplitud. (CINTEX, 2005, pág. 32).

Figura 7. Amplitudes de Onda, A1 y A2.

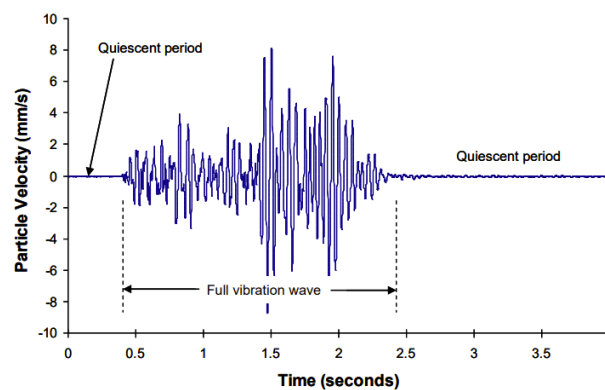


Nota: CINTEX, (2005).

2.2.4.3. Duración de vibración

La longitud de la vibración viene determinada por dos parámetros principales: la duración de la explosión y la distancia entre la estación de control y la explosión. Para medir con precisión la mayor velocidad de vibración causada por una explosión y extraer la información más completa de un registro de vibraciones, es crucial capturar toda la longitud de la onda. Un registro de vibraciones eficaz mostrará un periodo de silencio antes del inicio del registro de vibraciones, una descripción completa de la onda de vibración y un periodo posterior, una vez pasada la onda, durante el cual el suelo ha vuelto a su estado original de tranquilidad. (CINTEX, 2005, pág. 13).

Figura 8. Onda completa de vibración.



Nota: CINTEX, (2005).

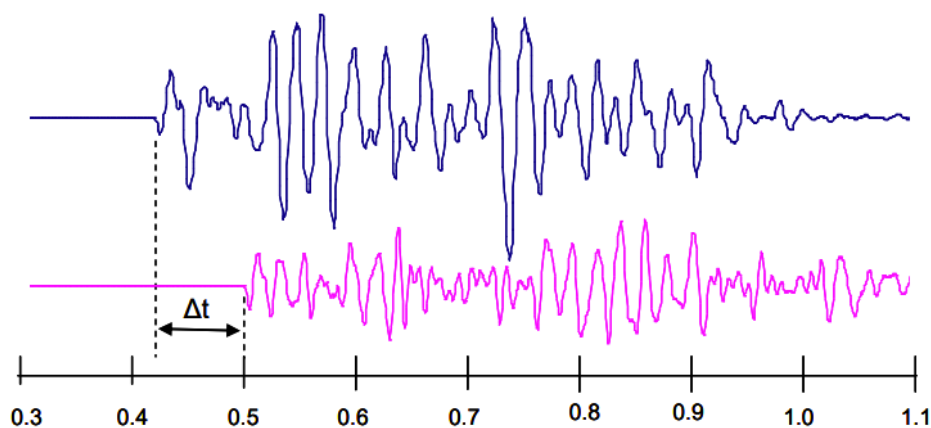
2.2.4.4. Longitud de onda de vibración

La longitud total perteneciente de una onda de vibración es todo el recorrido (distancia) de la onda vibratoria durante un ciclo completo de compresión y tensión, que también se denomina periodo de longitud de onda. La longitud de onda es un factor esencial que hay que tener en cuenta a la hora de modelar y discutir los posibles daños que las ondas de vibración podrían causar a las formaciones rocosas. (CINTEX, 2005, pág. 15).

2.2.4.5. Velocidad de propagación

La velocidad de propagación es la velocidad a la que la onda se desplaza a través de la roca. Para medir la velocidad, se colocan dos geófonos a distintas distancias del lugar de la explosión. A continuación, se calcula la discrepancia en los tiempos de llegada de cada señal, como se ve en la figura 9. Normalmente, la velocidad a la que se propagan las vibraciones en las minas a cielo abierto es de unos 3.000 m/s, pero puede alcanzar un máximo de 5.000 m/s en la roca muy densa presente en las minas subterráneas. Para obtener un cálculo más preciso, es necesario garantizar que la distancia entre los geófonos utilizados para evaluar la velocidad de propagación sea suficientemente grande. (CINTEX, 2005, pág. 15)

Figura 9. Estimación de la velocidad de propagación usando dos geófonos separados a 300 metros.



Nota: CINTEX, (2005).

2.2.5. Pérdida friccional de energía

La energía se disipa durante la transmisión de las ondas debido a la fricción entre las partículas, ya que ningún material tiene una elasticidad perfecta. La disipación de energía causada por la fricción da lugar a una energía de vibración no constante por unidad de

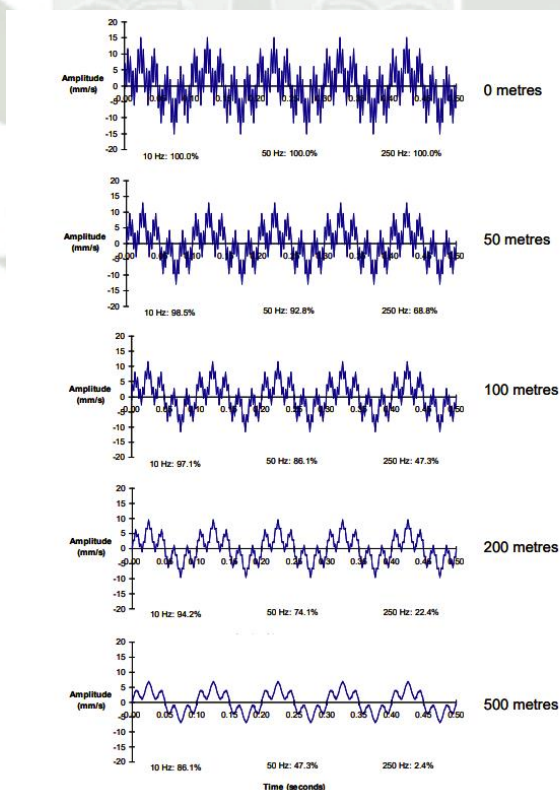
superficie, aunque respetando el principio de conservación de la energía. (CINTEX, 2005, pág. 41).

2.2.6. Cambio de la frecuencia con la distancia

La disipación geométrica no influye en la frecuencia presente en la onda de vibración. En un material completamente elástico, el espectro de frecuencias permanece constante a lo largo de toda la distancia de propagación. El espectro de frecuencias está determinado únicamente por las propiedades de la fuente de vibración y los módulos de la masa rocosa a través de la cual viaja la vibración. (CINTEX, 2005, pág. 44)

Se puede utilizar un programa informático (hoja de cálculo) para analizar el impacto de la pérdida por fricción en el espectro de frecuencias de una onda que incluya una combinación de varias frecuencias o tres frecuencias distintas. En este caso concreto (figura 10), se enviaron tres ondas con frecuencias de 10 Hz, 50 Hz y 250 Hz, todas ellas con una amplitud inicial de 5 mm/s, a distancias variables. La forma de onda resultante se calculó utilizando el concepto de superposición. (CINTEX, 2005, pág. 44).

Figura 10. Cambios de frecuencia con la distancia de propagación debido a la pérdida friccional ($Q = 30$, $V_p = 3500$ m/s).



Nota: CINTEX, (2005).

Además, en la imagen mencionada se indica junto a cada forma de onda la proporción de cada componente de frecuencia que permanece y la distancia de propagación. El fenómeno de la pérdida por fricción explica la reducción selectiva de los componentes de vibración de alta frecuencia a medida que aumenta la distancia de propagación. Según el diagrama anterior, tras propagarse a una distancia de 500 m, sólo queda un 2,4% de las ondas con una frecuencia de 250 Hz, mientras que el 86% de las ondas con una frecuencia de 10 Hz siguen presentes. La simulación mencionada no tiene en cuenta el impacto de la disipación geométrica en la amplitud de la onda. (CINTEX, 2005, pág. 45).

2.2.7. Predicción de niveles de vibración

2.2.7.1. Modelo de campo lejano

La gestión de las vibraciones se utiliza para mitigar los daños estructurales causados por las vibraciones inducidas por las voladuras. Al considerar el campo lejano (a menudo a una distancia de hasta cinco veces la altura de la carga), hay que tener en cuenta varios factores:

- La energía vibracional en un medio no elástico experimenta pérdidas por fricción a medida que se aleja de la fuente. En rocas con alto módulo y baja fricción interna, la pérdida de energía es mínima y el comportamiento puede considerarse elástico. Sin embargo, a medida que disminuyen la competencia y el módulo de la roca, aumentan las pérdidas por fricción, lo que provoca una disminución de la energía vibracional.
- El frente de onda creciente sufre una transformación geométrica a medida que se aleja de la perforación. Inicialmente, a una distancia muy cercana, parece plano, pero luego se vuelve cilíndrico y después esférico en el campo lejano.

2.2.7.1.1. Modelo de Divine y Duvall

El registro se tratará como si fuera una explosión solitaria, y se calculará la distancia desde el centro de la explosión hasta el lugar de instalación del geófono. La fórmula que se utilizará en este análisis de vibraciones será Divine. (Bobadilla Velásquez, 2016, pág. 30)

$$ppv = k \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\alpha \quad (1)$$

Donde:

K y n son determinados por regresión lineal.

W: Peso del explosivo por cada pozo (kg)

D: Distancia (m) desde la carga detonada al punto de medición.

Del modelo presentado debemos hallar los coeficientes α (Factor de Decaimiento) y K (intercepto). Esto se realiza graficando una recta donde en eje de las X estará representado por el logaritmo distancia escalada y el eje de las Y por el logaritmo de los valores de PPV medidos en terreno. (Bobadilla Velásquez, 2016, pág. 31).

los valores de PPV medidos en terreno.

Aplicamos logaritmo al modelo:

$$\log ppv = \log \left(K \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\alpha \right) \quad (2)$$

$$\log ppv = \log K + \alpha \log \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right) \quad (3)$$

$$\log ppv = \log K + \alpha \log \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right) \quad (4)$$

Ajustamos estos valores con una regresión de mínimos cuadrados:

$$Y=A+BX \quad (5)$$

A= Log K; Intercepto con el eje Y

B = α ; Pendiente de la recta

Sc =D; Distancia Escalada

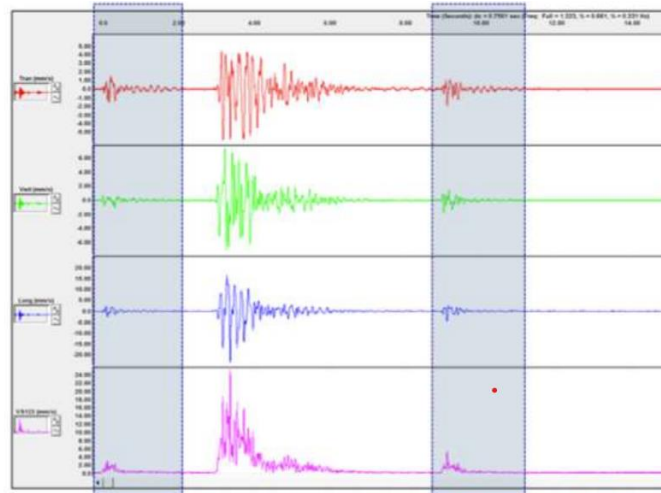
2.2.7.2. Onda elemental

Una onda elemental se refiere al patrón vibratorio producido por un taladro solitario. La simulación Monte Carlo se utiliza para tener en cuenta la incertidumbre en el tiempo de iniciación de cada barreno durante la voladura. Esta simulación se basa en datos experimentales que determinan la gama de retardos empleados en el proceso de voladura. La forma de onda fundamental de cada taladro individual se combina consigo misma, tras un retardo de tiempo adecuado para cada taladro. Los tiempos de disparo presentan variabilidad y siguen una distribución normal centrada en el tiempo de disparo nominal, lo que da lugar a la generación de formas de onda distintas para cada simulación. (Bobadilla Velásquez, 2016, pág. 32)

La variación en el tiempo de inicio de cada perforación individual en cada simulación conduce a un grado diferente de interacción entre las formas de onda elementales subsiguientes. En consecuencia, las amplitudes de los picos de vibración también difieren en cada simulación. Documentando los puntos más altos alcanzados en cada simulación y realizando varias repeticiones de la simulación. (Bobadilla Velásquez, 2016, pág. 32)

Es importante destacar que el nivel de vibración de una explosión con varios taladros es mucho mayor que el de un solo taladro. El tipo de ecuación simple USBM establece que los niveles deberían ser idénticos, ya que el factor determinante del nivel máximo en estas ecuaciones es el peso de la carga por taladro. Para prever los niveles de vibración resultantes de las voladuras de producción en un lugar determinado, es esencial determinar la reacción de un taladro individual en ese lugar cuando se explotan taladros en otros lugares alrededor del lugar. (Bobadilla Velásquez, 2016, pág. 32)

Figura 11. Registro de Ondas Elementales.



Nota: Bobadilla Velásquez, (2016).

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

- El análisis de onda elemental y la selección de retardo adecuado facilitará el control de vibraciones en la zona geotécnica 4 del tajo sur de un yacimiento de tipo porfido – skarn de cobre.

2.3.2. Hipótesis Especificas

- El empleo de retardos óptimos en la secuencia de salida favorecerá a la consolidación de vibraciones mínimas.
- La obtención de frecuencias altas y velocidades pico de partículas bajas aminorará el daño ocasionado por voladura en la zona geotécnica 4.
- Los tiempos establecidos por las ondas elementales, logran estabilizar la deformación post voladura generada en la zona geotécnica 4
- la aplicación de la secuencia de salida “taladro a taladro” en los diseños de voladura permitirá la disminución del daño a las paredes de la zona geotécnica 4.

2.4. Variables

2.4.1. Variable Independiente

- Secuencia de diseño.
- Diseño de carguío.

2.4.2. Variable dependiente

- Vibraciones por voladura.

2.4.3. Operacionalización de Variables

Tabla 1. Cuadro de Operacionalización de Variables.

	Variables	Indicadores	Unidad de Medida
Variable independiente	Secuencia de diseño	Tiempo entre filas	ms
		Tiempo entre taladros	ms
		Tiempo de duración de voladura	ms
		Sistema de iniciación	ms
	Diseño de carguío	Carga de explosivo	kg
		Densidad de carga explosiva	gr/cm ³
		Densidad de carga lineal	kg/m
		Longitud de taladro	m
		Altura de taco	m
	Variable dependiente	Vibraciones por voladura	Plegamiento de estructuras
Sobre quiebre			m
Resonancia de suelos			Hz
Disminución de la calidad de roca			(%)
Baja frecuencia en macizo rocoso			Hz
Velocidad de partícula elevada			m/s

Nota: Elaboración Propia

CAPITULO 3

3. MARCO METODOLOGICO

3.1. Alcances

3.1.1. Alcances

3.1.1.1. Alcance social

La evaluación de la onda elemental ha permitido identificar nuevos tiempos adecuados para las voladuras que tendrán lugar bajo los bancos de la zona norte del tajo sur (Zona Geotécnica 4). Esta investigación puede utilizarse para realizar un análisis de ondas elementales en cualquier instalación minera con el objetivo de determinar el momento más eficiente para diseñar la secuencia de salida y control de daño por vibraciones.

3.1.1.2. Localización temporal

La investigación se llevará a cabo de octubre de 2023 a octubre de 2023, y finalizando en marzo del 2024, enmarcados durante este periodo de tiempo en la determinación, aplicación y análisis de los efectos de la onda elemental sobre la zona geotécnica 4.

3.2. Tipo y Diseño de la investigación

3.2.1. Tipo de la Investigación

Aplicada.

3.2.2. Nivel de la investigación

Descriptivo Experimental.

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

En promedio, se realizan 20 voladuras mensuales en la fase 8 del Tajo sur, de los cuales 6 se desarrollan en la zona geotécnica 4. De ellas, solamente se ha contemplado considerar 3 voladuras cercanas a la zona en mención y únicamente se tomará 1 taladro de prueba como onda semilla.

3.3.2. Muestra

n = Tamaño de muestra buscado.

N = Tamaño de la población finita.

Z = Nivel de confianza.

E = Error de estimación máximo aceptado.

P = Probabilidad de que ocurra el evento.

$q = (1-p)$ = Probabilidad de que no ocurra.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (6)$$

$$n = \frac{3 * 1.96_{95\%}^2 * 50\% * 50\%}{5\%^2 * (3 - 1) + 1.96_{95\%}^2 * 50\% * 50\%} \quad (7)$$

$$n = \frac{2.8812}{0.9654} \quad (8)$$

$$n = 2.9844624 \approx 3 \quad (9)$$

Se va a considerar el estudio de 3 ondas elementales.

3.4. Método, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.4.1. Método

Separar el inicio del taladro de prueba (onda semilla) con respecto a la voladura principal en 500 ms y/o 1000 ms.

3.4.2. Técnica

Aplicar el principio de onda elemental en voladuras piloto.

3.4.3. Instrumentos

- Sismógrafo instantáneo de 4 canales.
- Registrador fílmico (Drone Mavic 3 Enterprise)
- Registro de vibraciones en campo.

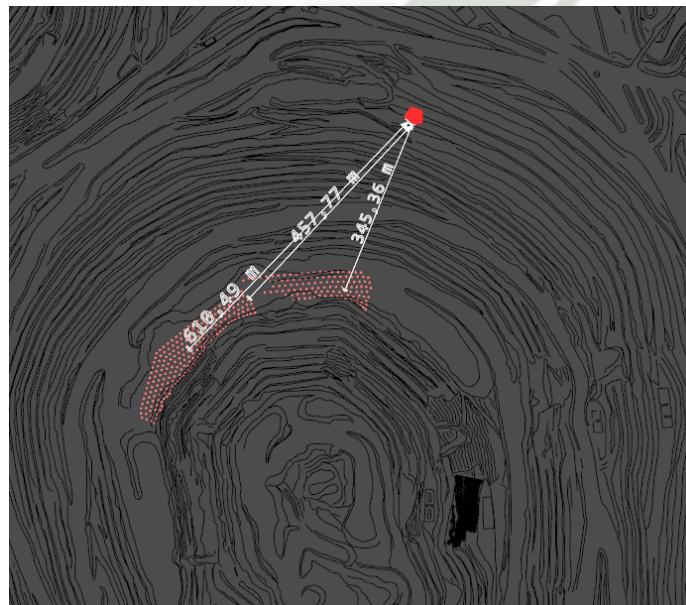
3.4.4. Herramientas

- Blastware: El software ha sido diseñado para que realice diversas tareas cuyo propósito es apoyar las operaciones de un monitoreo, ofreciendo poderosas funciones y facilidad de uso para el manejo de eventos, elaboración de informes de cumplimiento y el análisis avanzado de datos de monitoreo de vibraciones.
- Minesight: El software para poder realizar el modelado y los planes de minado, con el fin de generar soluciones integradas para los planes de explotación corto y largo plazo.
- Paradigm Blast Tools: Es reconocido como el mejor software de optimización de voladuras en el mercado que consiste en un conjunto de herramientas de diseño de voladuras y modelos de ingeniería avanzados. Un profesional de Enaex Perú está equipado con las mejores herramientas del mercado.

3.5. Procesamiento de datos

La recolección de información se llevará a cabo a través de sismógrafos instalados en el punto específico de monitoreo de la zona geotecnia 4 establecida por el área de geotecnia mina, sin embargo, el registro debe ir relacionado con una distancia estrategia respecto a voladuras donde se efectuó el estudio de onda elemental, de tal manera que permita obtener pulsos sísmicos intactos sin alteración.

Figura 12 Punto de Monitoreo Zona Geotecnia 4 – Distancias a taladros semilla.



Nota: Elaboración Propia

Seguidamente, estos registros serán procesados mediante el empleo del software blastware, esto facilitara la descarga de data para su posterior interpretación.

Con el análisis de vibraciones hechas, se planteará el cambio de tiempos según la distinción sísmica que arroja la onda elemental, para luego obtener nuestros valores de registros de vibración por voladura mediante la adaptación de tiempos en los diseños de secuencia de salida.



CAPITULO 4

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis de ondas elementales para uso adecuado de tiempos de taladros y filas

La señal de vibración en el campo lejano se ve afectada significativamente por las propiedades del macizo rocoso, principalmente por el grado de fractura. Un escenario específico en el que se producen atenuaciones rápidas es el de las zonas muy fracturadas o alteradas.

Cuando la frecuencia primaria de las ondas de vibración coincide con la frecuencia de resonancia de las estructuras, existe un mayor riesgo de que se produzcan daños importantes. Esto se debe a que la vibración del suelo se amplifica, lo que provoca una reacción más fuerte de la estructura.

Este modelo de simulación emplea una suma algebraica básica de las ondas generadas por cada carga explosiva durante una explosión. Ajusta el momento de llegada de estas ondas al lugar de interés en función del retardo y el tiempo de viaje, lo que da lugar a la formación de una señal de vibración global.

El impacto de las voladuras hacia los taludes está definido por los parámetros de diseño de voladura en mallas de contorno y de producción. Por lo tanto, para lograr el objetivo de disminuir el impacto producido por la voladura, se plantea realizar una metodología de estudios técnicos de 6 etapas utilizando desde la información geomecánica, estudios de vibraciones en campo cercano y lejano para establecer los criterios de daño por litología, tipo de explosivo determinada por la cantidad de energía a desarrollar, modelamiento de vibraciones pre-voladura, estudios de onda elemental para determinar los tiempos óptimos de retardo entre taladros y filas que reduzcan las vibraciones e incrementen las frecuencias hasta la conciliación geotécnica. (Mattmet Lizares, 2017, pág. 2)

4.1.1. Uso de la onda elemental para zona geotécnica 4

Se ha puesto como prioridad el control de daño a las paredes del talud desde que se identificó activaciones de fallas en distintas partes de la zona geotécnica 4. El estudio por onda elemental tiene por finalidad encontrar rangos de tiempos óptimos empleables que mejoren el desempeño de las voladuras en relación a los efectos adversos que estas ocasionan a áreas sensibles como la zona geotécnica 4 del Tajo Sur.

Se ha considerado la realización de 3 ondas elementales para el propósito de nuestro estudio, 2 de ellas se desarrollan en el nivel 3720 y 1 en el nivel 3705.

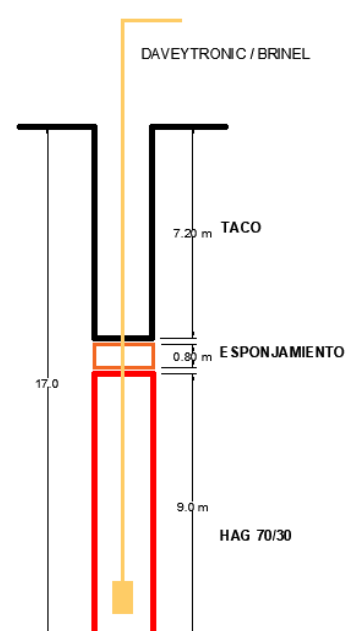
4.1.1.1. Onda elemental – Fase 8 – Proyecto 1-08-3720-137

La primera prueba de onda elemental posee las siguientes características:

Tabla 2. Diseño de carga proyecto de voladura 1-08-3720-137

PRODUCCION DESMONTE	
Densidad de roca (g/cc)	2.65
Diámetro (Pulg)	12 ¼
Burden (m)	10.0
Espaciamiento (m)	11.50
Altura de banco (m)	15.0
Sobreperforación (m)	2
Espojamiento (m)	0.80
Cámara de aire inferior (m)	-
Longitud de carga (m)	9.0
Cantidad de carga (kg)	900.0
Tipo de explosivo	HAG 70/30
Taco (m)	7.20
Tonelaje (ton)	4571.30
Factor de potencia (kg/ton)	0.20

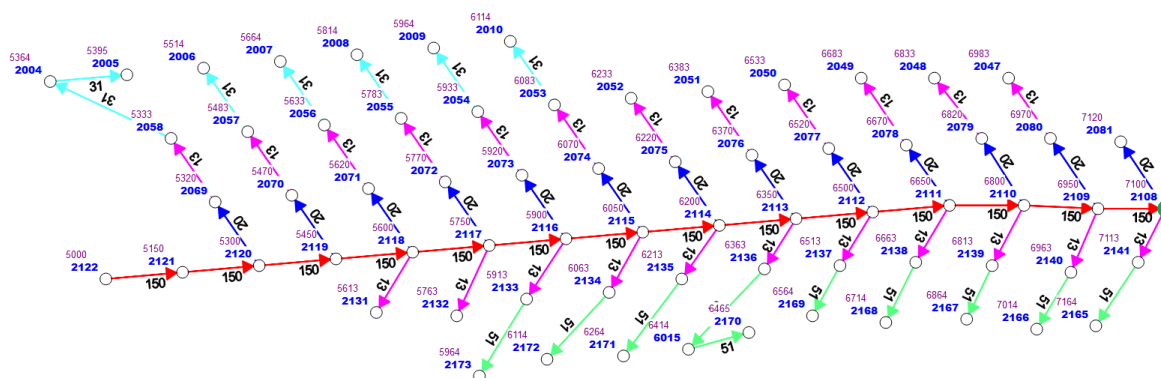
1-08-3720-137
SIMPLE INICIACIÓN ELECTRONICA



Nota: Elaboración propia.

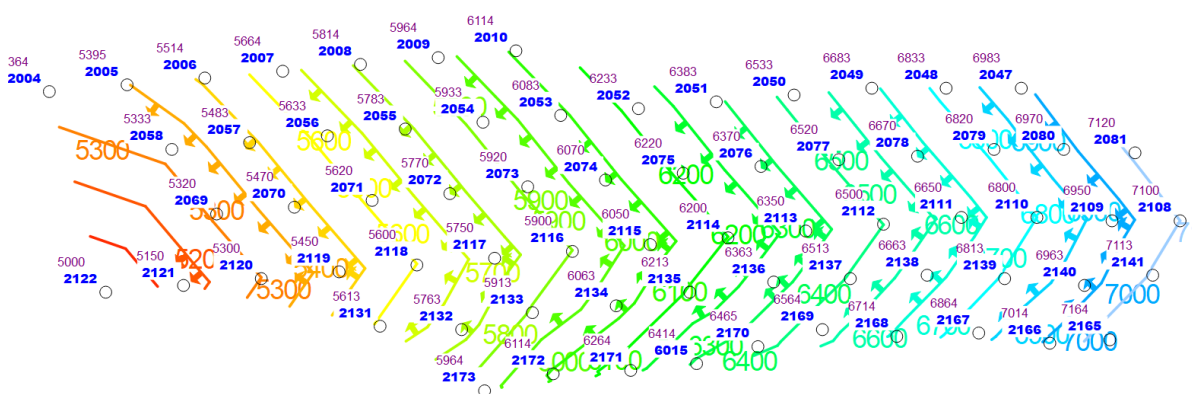
Se ha considerado el diseño de secuencia de salida habitual en “V” para la primera prueba. El tiempo entre taladros es de 13 ms con tiempo entre filas de 150 ms y un quiebre de 20 ms, así mismo el taladro de prueba con ID 2141 tiene una separación de 4000 ms respecto al taladro de inicio con ID 2122.

Figura 13. Diseño de secuencia de salida 1-08-3720-137.



Nota: Archivo Personal.

Figura 14. Movimiento de material y Línea de isotiempo 1-08-3720-137.



Nota: Archivo Personal.

Tabla 3. Taladro de prueba OE – ID 2141.

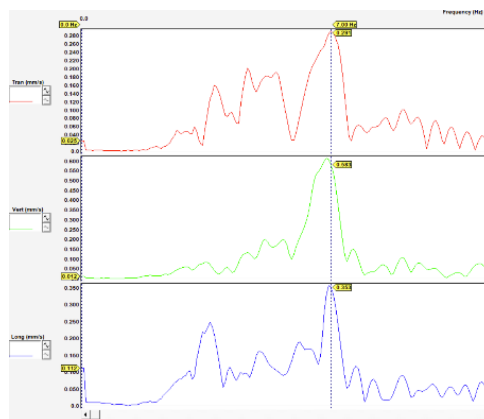
ONDA ELEMENTAL	
Fase	Fase VIII
Nivel	3720
Proyecto	137
ID Taladro	2141
Iniciación	Electronica

Nota: Elaboración propia.

4.1.1.1.1. Registro de onda elemental 1-08-3720-137

Figura 15. Vibración y frecuencia obtenida 1-08-3729-137- Sismógrafo 02.

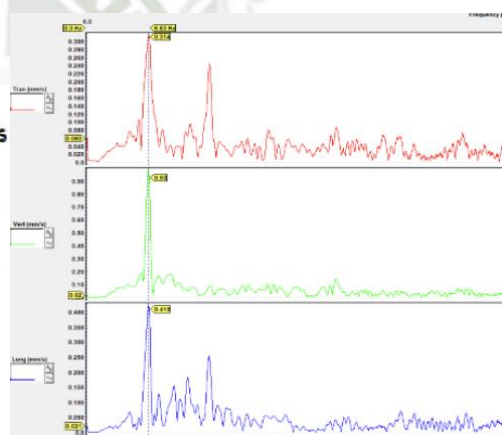
	Tran	Vert	Long	
PPV	8.128	9.017	8.278	mm/s
ZC Freq	7.0	6.8	5.2	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.632	1.658	0.959	sec
Peak Acceleration	0.053	0.066	0.033	g
Peak Displacement	0.238	0.228	0.232	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.1	7.4	Hz
Overswing Ratio	4.6	5.1	4.7	
Peak Vector Sum	10.77 mm/s at 0.583 sec			



Nota: Archivo personal.

Figura 16. Vibración y frecuencia obtenida 1-08-3729-137- Sismógrafo 01.

	Tran	Vert	Long	
PPV	12.69	19.16	10.91	mm/s
ZC Freq	9.7	6.0	12.6	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.568	0.399	0.340	sec
Peak Acceleration	0.494	0.610	0.252	g
Peak Displacement	0.166	0.379	0.155	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.2	7.3	7.3	Hz
Overswing Ratio	4.9	4.8	5.0	
Peak Vector Sum	19.61 mm/s at 0.327 sec			

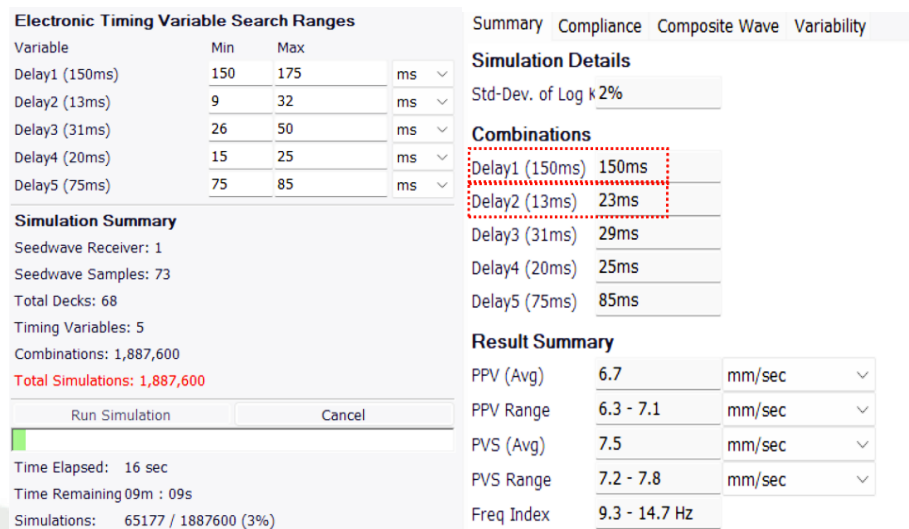


Nota: Archivo personal.

Se obtuvo vibraciones de PVS 10.77 mm/s con una frecuencia de 7.0 Hz en el punto del sismógrafo 02 y un PVS de 19.61 mm/s con frecuencia de 6.6 Hz en el sismógrafo 01.

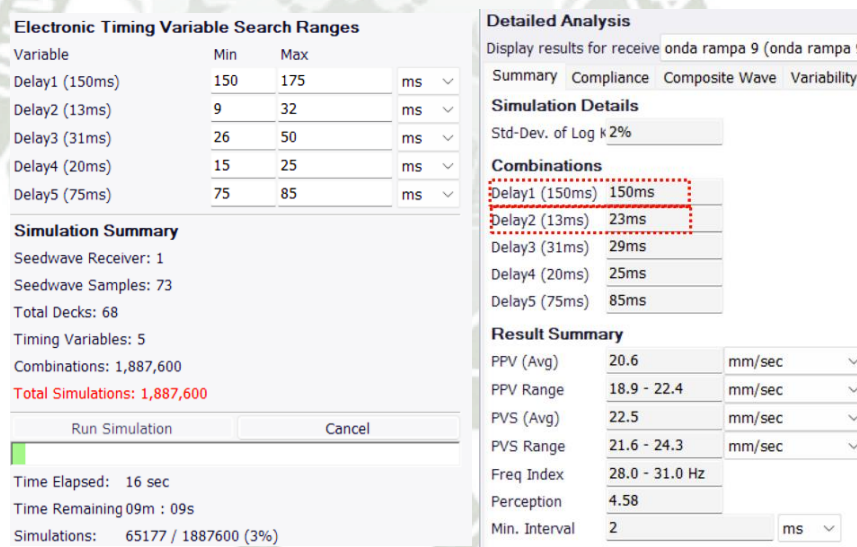
Se registro la vibración de un taladro de producción en la zona geotécnica 04 para su posterior análisis y simulación de esta, y en función a un rango de tiempo simularlos para determinar los tiempos de taladros y filas en la cual generen menor velocidad de partícula y mayor frecuencia de llegada a la zona a cautelar.

Figura 17. Simulación de tiempos a partir de la onda elemental del proyecto 1-08-3720-137 – Sismógrafo 02.



Nota: Archivo personal.

Figura 18. Simulación de tiempos a partir de la onda elemental del proyecto 1-08-3720-137 – Sismógrafo 01



Nota: Archivo personal.

Registros simulados, entre tiempos entre taladros y filas, para una elección de tiempos con el propósito de disminuir las VPP y aumentar las frecuencias a 14Hz, el modelo estadístico muestra valores para tiempos entre taladros de 23 ms y tiempos entre filas 150 ms con vibración de PVS de 7.5 mm/s y frecuencia de 14.7 Hz para el punto del de instalación del sismógrafo 02.

Seguidamente, se analizó el registro en el sismógrafo 01, estando a 130 metros de la malla, con tiempos entre taladros de 23 ms y tiempos entre filas 150 ms, si obtuvo PVS y

frecuencias de 20.6 mm/s y de 28 Hz con el uso de tiempos entre taladros y filas recomendados por la simulación del software de voladura herramienta Sweetspot.

Figura 19. Resultado de vpp y frecuencias con tiempos simulados de 23, 25, 29 y 150ms – Sismógrafo 02.

Bulk Simulatio			
Combinations	Input Summary	Variability	
Delay combination	PPV (mm/s)	PVS (mm/s)	Frequency (Hz)
150ms, 23ms, 29ms, 25ms, 85ms			
Punto S4	6.6	7.3	15

Nota: Archivo personal.

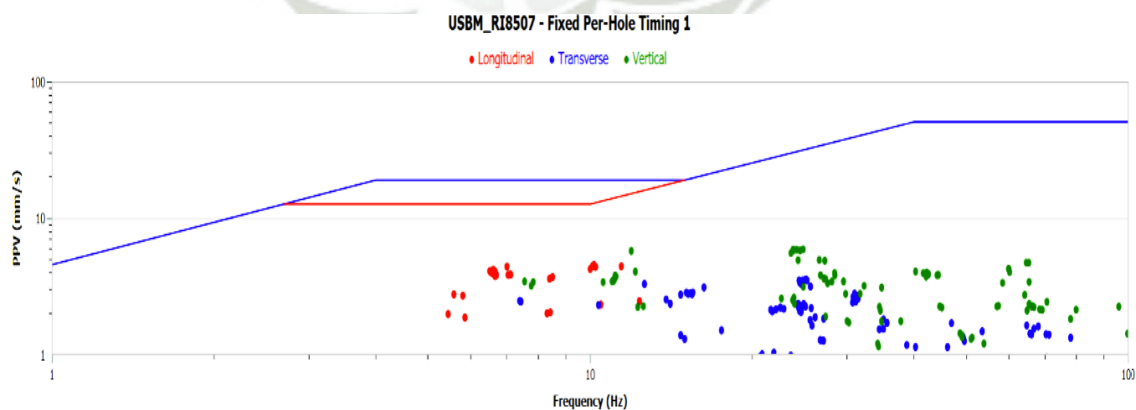
Figura 20. Resultado de vpp y frecuencias con tiempos simulados de 23, 25, 29 y 150ms – Sismógrafo 01.

Bulk Simulatio			
Combinations	Input Summary	Variability	
Delay combination	PPV (mm/s)	PVS (mm/s)	Frequency (Hz)
150ms, 23ms, 29ms, 25ms, 85ms			
onda rampa 9	20.6	22.3	28

Nota: Archivo personal.

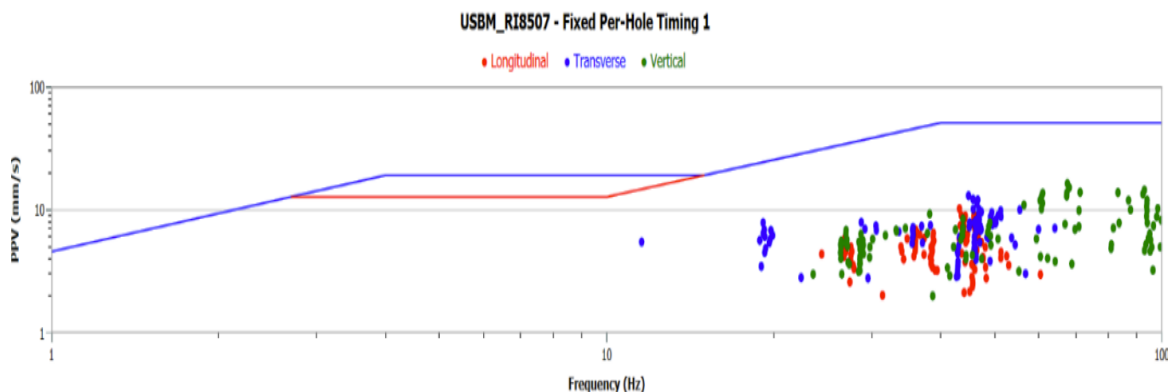
Se ejecuto combinaciones de tiempos con ayuda del software de voladura (Paradigm Blast Tools), incluyendo rangos mínimos y máximos para abarcar mayor simulaciones tiempos, luego de 1,887,600 simulaciones se genera una matriz de combinaciones de resultados de vibraciones (PVS) y de frecuencia (Hz).

Figura 21. Norma USBM puntos de velocidad debajo de la zona de daño (registro simulado) – Sismógrafo 02.



Nota: Archivo Personal.

Figura 22. Norma USBM puntos de velocidad debajo de la zona de daño (registro simulado) – Sismógrafo 01.



Nota: Archivo Personal.

Los puntos de las velocidades versus las frecuencias de la voladura simulada con los tiempos recomendado, que se aprecia en la figura N°21, indica que nos encontramos debajo de la zona de daño que pueda generar el efecto adversos de las voladuras en la zona geotécnica 4.

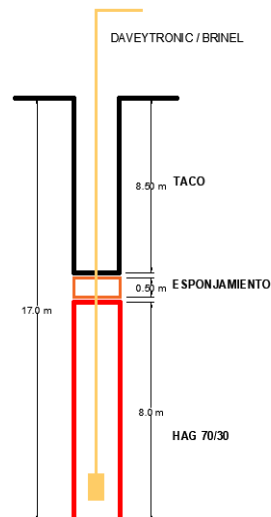
4.1.1.2. Onda elemental – Fase 8 – Proyecto 1-08-3705-142

La segunda prueba de onda elemental posee las siguientes características:

Tabla 4. Diseño de carga proyecto de voladura 1-08-3705-142.

PRODUCCION DESMONTE	
Densidad de roca (g/cc)	2.65
Diámetro (Pulg)	12 1/4
Burden (m)	9.0
Espaciamiento (m)	10.4
Altura de banco (m)	15.0
Sobreperforación (m)	2.0
Esponjamiento (m)	0.5
Cámara de aire inferior (m)	-
Longitud de carga (m)	8.0
Cantidad de carga (kg)	800.0
Tipo de explosivo	HAG 70/30
Taco (m)	8.50
Tonelaje (ton)	3720.6
Factor de potencia (kg/ton)	0.22

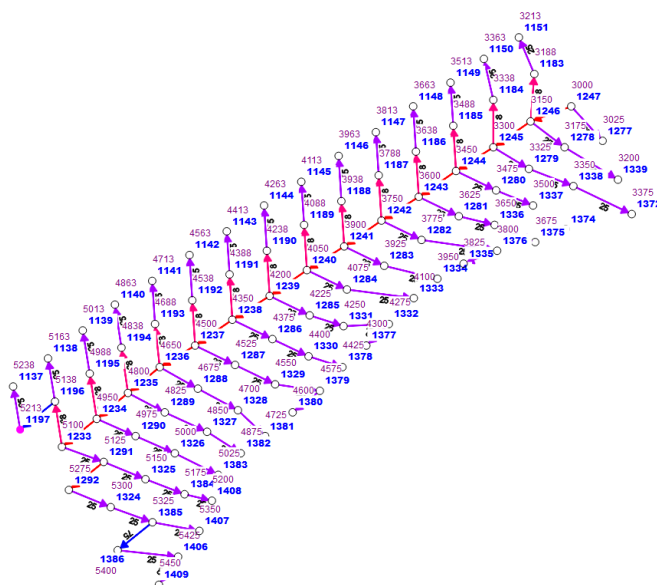
1-08-3705-142 SIMPLE INICIACIÓN ELECTRONICA



Nota: Elaboración propia.

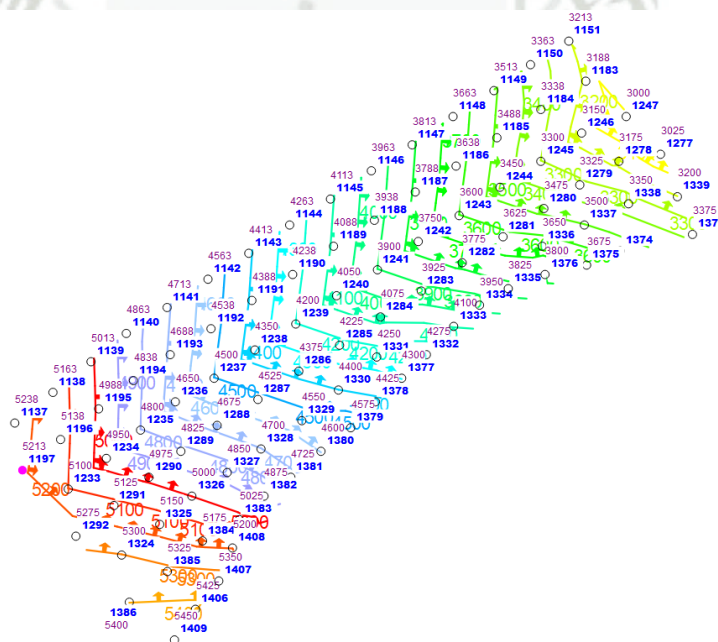
Se ha considerado el diseño de secuencia de salida habitual en “V”, para la segunda prueba. El tiempo entre taladros es de 25 ms con tiempo entre filas de 150 ms, siendo el mismo inicio el taladro de prueba con ID 1247.

Figura 23. Diseño de secuencia de salida 1-08-3705-142.



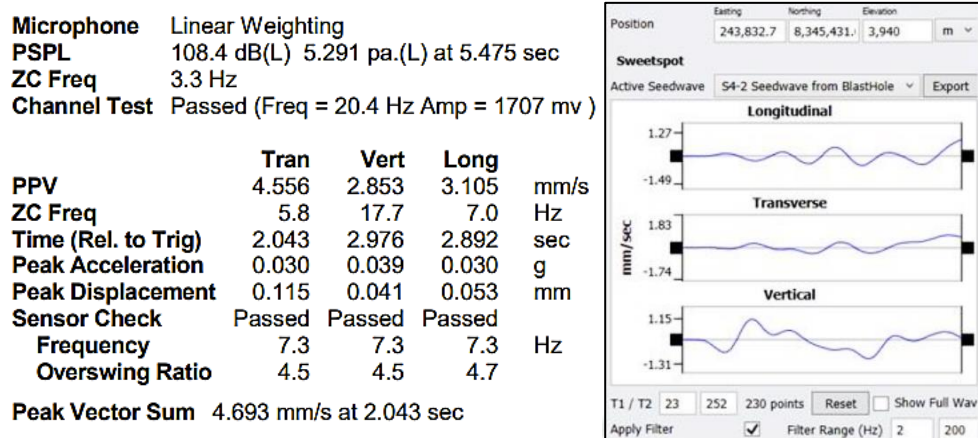
Nota: Archivo Personal.

Figura 24. Movimiento de material y Línea de isotiempo 1-08-3705-142.



4.1.1.2.1. Registro de onda elemental 1-08-3705-142

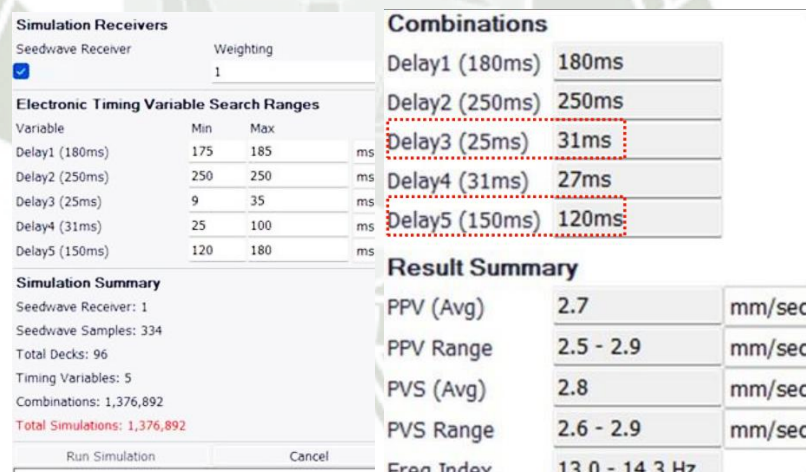
Figura 25. Vibración y frecuencia obtenida 1-08-3705-142



Nota: Archivo Personal.

Se obtuvo vibraciones de PVS 4.693 mm/s con una frecuencia de 7.6 Hz en el punto del sismógrafo 01.

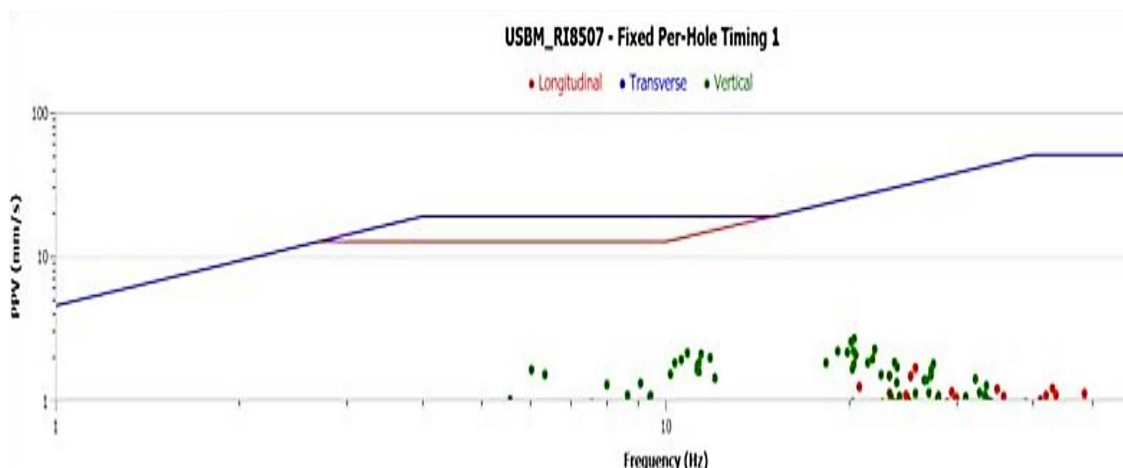
Figura 26. Simulación de tiempos a partir de la onda elemental del proyecto 1-08-3705-142 – Sismógrafo 01.



Nota: Archivo Personal.

El modelo estadístico muestra valores para tiempos entre taladros de 31 ms y tiempos entre filas 150 ms con vibración de PVS de 2.8 mm/s y frecuencia de 14.0 Hz.

Figura 27. Norma USBM puntos de velocidad debajo de la zona de daño (registro simulado) – 1-08-3705-142.



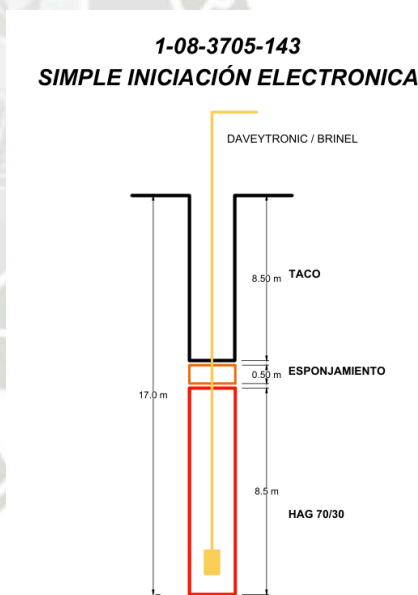
Nota: Archivo personal.

4.1.1.3. Onda elemental – Fase 8 – Proyecto 1-08-3705-143

La segunda prueba de onda elemental posee las siguientes características:

Tabla 6. Diseño de carga proyecto de voladura 1-08-3705-143.

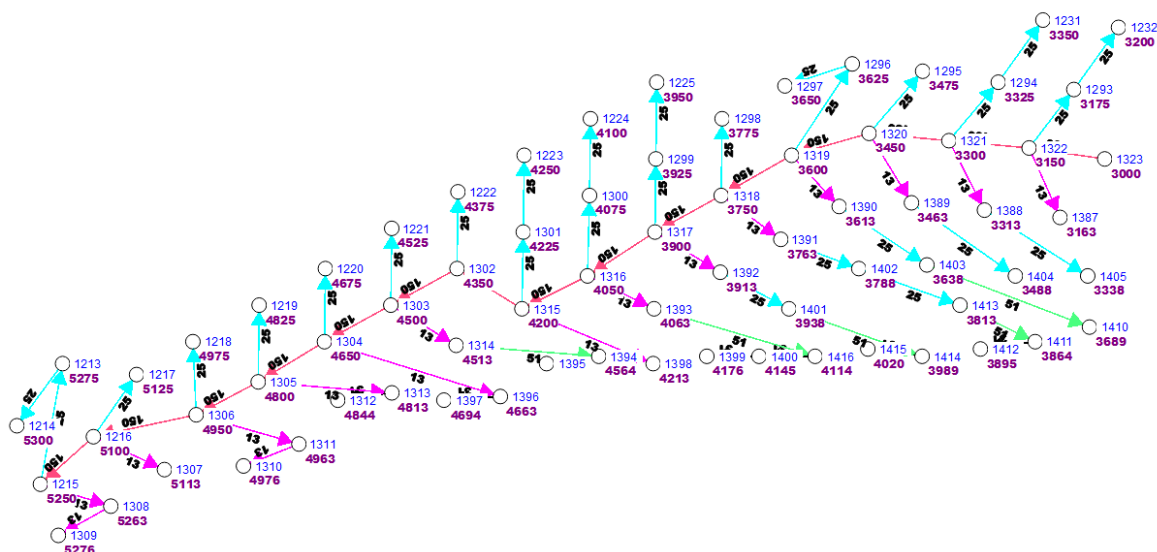
PRODUCCION DESMONTE	
Densidad de roca (g/cc)	2.65
Diámetro (Pulg)	12 1/4
vvBurden (m)	9.0
Espaciamiento (m)	10.4
Altura de banco (m)	15.0
Sobreperforación (m)	2.0
Esponjamiento (m)	0.5
Cámara de aire inferior (m)	-
Longitud de carga (m)	8.0
Cantidad de carga (kg)	850.0
Tipo de explosivo	HAG 70/30
Taco (m)	8.0
Tonelaje (ton)	3720.6
Factor de potencia (kg/ton)	0.23



Nota: Elaboración propia.

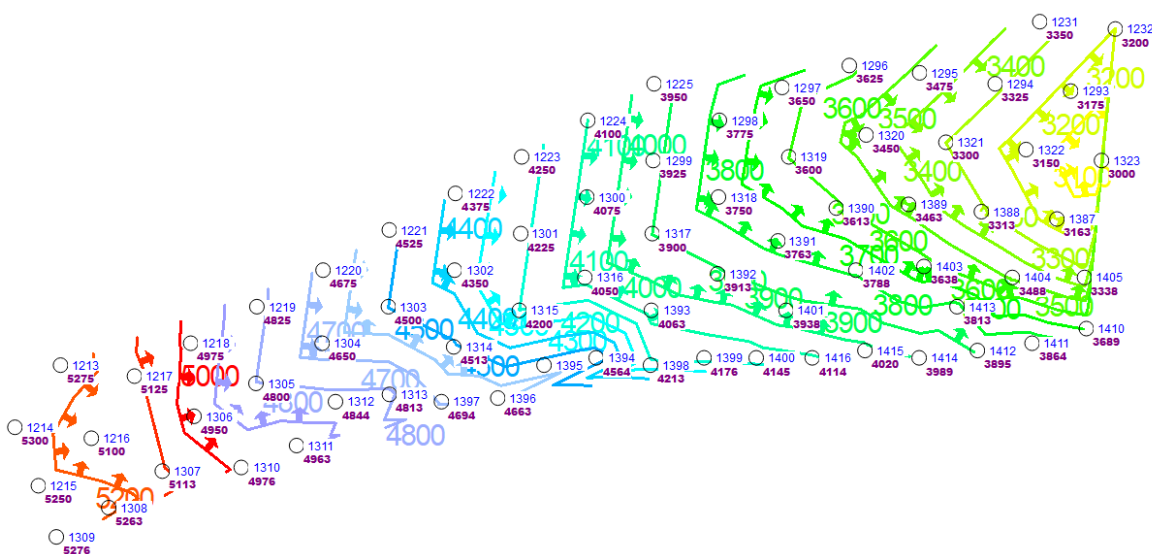
Se ha considerado el diseño de secuencia de salida habitual en “V”, para la segunda prueba. El tiempo entre taladros es de 25 ms con tiempo entre filas de 150 ms, siendo el mismo inicio el taladro de prueba con ID 1247.

Figura 28. Diseño de secuencia de salida 1-08-3705-143.



Nota: Archivo personal.

Figura 29. Movimiento de material y Línea de isotiempo 1-08-3705-143.



Nota: Archivo personal.

Tabla 7. Taladro de prueba OE – ID 2141.

ONDA ELEMENTAL	
Fase	Fase VIII
Nivel	3705
Proyecto	143
ID Taladro	1323
Iniciación	Electronica

Nota: Elaboración propia.

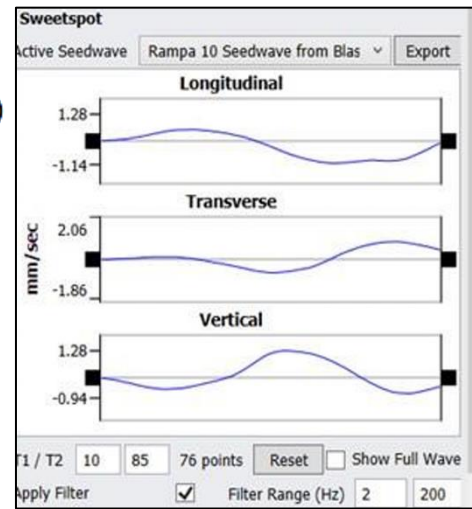
4.1.1.3.1. Registro de onda elemental 1-08-3705-143

Figura 30. Vibración y frecuencia obtenida 1-08-3705-143.

Microphone Linear Weighting
 PSPL 115.8 dB(L) 12.32 pa.(L) at 4.149 sec
 ZC Freq 9.8 Hz
 Channel Test Passed (Freq = 20.4 Hz Amp = 1949 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	6.164	3.271	9.876	mm/s
ZC Freq	9.9	15.5	15.5	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.199	2.875	3.201	sec
Peak Acceleration	0.051	0.044	0.097	g
Peak Displacement	0.099	0.050	0.099	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.5	7.2	7.4	Hz
Overswing Ratio	4.5	5.0	4.7	

Peak Vector Sum 10.58 mm/s at 3.200 sec



Nota: Archivo personal.

Se obtuvo vibraciones de PVS 10.58 mm/s con una frecuencia de 9.52 Hz en el punto del sismógrafo 01.

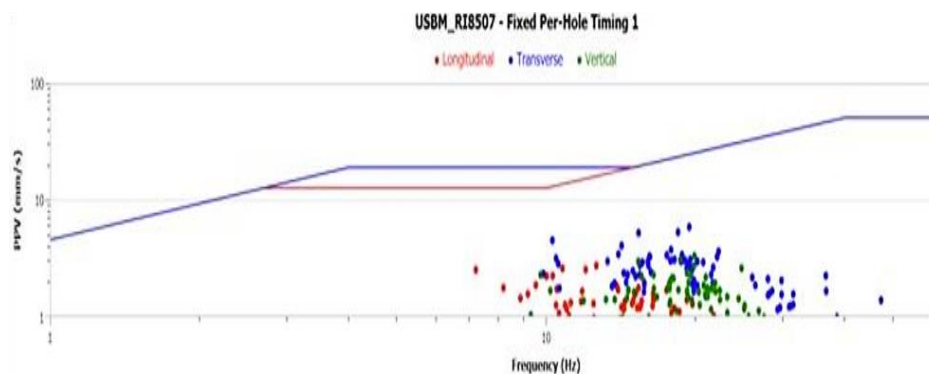
Figura 31. Simulación de tiempos a partir de la onda elemental del proyecto 1-08-3705-143 – Sismógrafo 01.

Simulation Receivers				Combinations	
Seedwave Receiver	Weighting			Delay1 (150ms)	150ms
<input checked="" type="checkbox"/> Rampa 10	1			Delay2 (25ms)	32ms
Electronic Timing Variable Search Ranges				Delay3 (13ms)	10ms
Variable	Min	Max		Delay4 (31ms)	32ms
Delay1 (150ms)	120	170	ms	Delay5 (65ms)	65ms
Delay2 (25ms)	9	32	ms		
Delay3 (13ms)	9	20	ms		
Delay4 (31ms)	25	35	ms		
Delay5 (65ms)	65	70	ms		
Simulation Summary				Result Summary	
Seedwave Receiver: 1				PPV (Avg)	5.9 mm/sec
Seedwave Samples: 104				PPV Range	5.6 - 6.5 mm/sec
Total Decks: 69				PVS (Avg)	6.8 mm/sec
Timing Variables: 5				PVS Range	6.5 - 7.3 mm/sec
Combinations: 969,408				Freq Index	9.7 - 11.7 Hz
Total Simulations: 969,408					
Run Simulation				Cancel	

Nota: Archivo personal.

El modelo estadístico muestra valores para tiempos entre taladros de 32 ms y tiempos entre filas 150 ms con vibración de PVS de 6.70 mm/s y frecuencia de 12.0 Hz.

Figura 32. Norma USBM puntos de velocidad debajo de la zona de daño (registro simulado) – 1-08-3705-143.



Nota: Archivo personal.

Tabla 8. Resumen de tiempos entre taladros y filas con frecuencias requeridas

TIEMPOS DE ONDA ELEMENTAL						
ZG	Tajo	Fase	Litología	Frecuencias requeridas (Hz)	Tiempo taladros (ms) (onda elemental)	Tiempo filas (ms) (onda elemental)
ZG4	8	8	CZ	14	23-25	150
ZG4	8	8	Hornfels-Cz	14	31	120-150
ZG4	8	8	Hornfels-Cz	12	32	150

Nota: Elaboración propia.

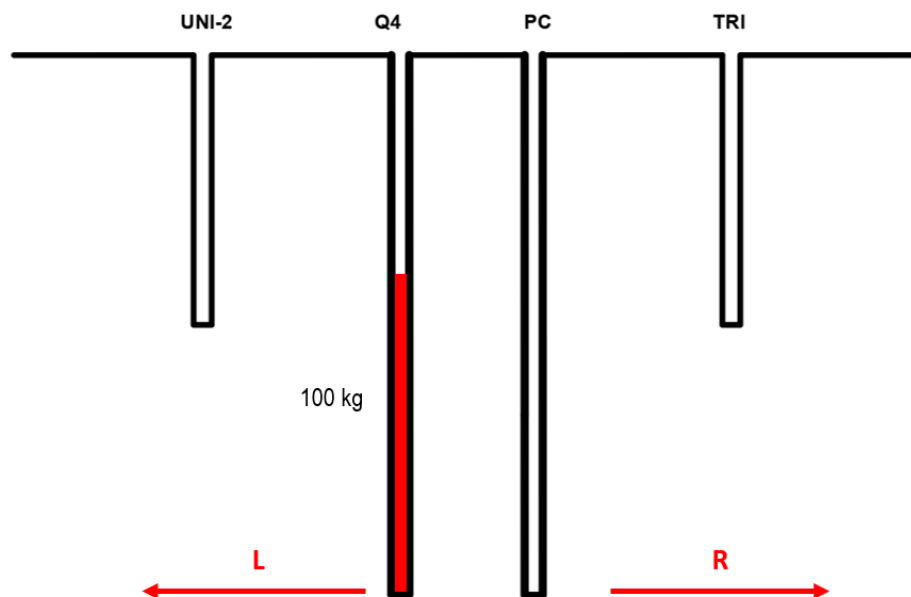
4.2. Filtro de precorte

El principio del precorte es reducir las vibraciones generadas en el taladro, justo lo suficiente para producir grietas entre taladros adyacentes en la línea del precorte. Esta prueba consiste en perforar una serie de taladros a lo largo de la línea límite de excavación, con carga explosiva y espaciamiento menor a los empleados en una voladura convencional o de producción, de modo que al disparar en forma simultánea o retardada cada cierto número de taladros antes de iniciar la voladura principal, exceda la resistencia dinámica de tracción de la roca, y se genere un plano de debilidad que sirva de amortiguación para las vibraciones de dicha voladura.

4.2.1.1. Arreglo de prueba

Para estimar la eficiencia del pre-corte, se debe medir los niveles de vibración VPP inducido por una fuente (carga explosiva Q4). Las ondas se dispersan por el medio rocoso hasta los geófonos insertos en los taladros etiquetados como UNI-2 y TRI-H, de tal manera que en la dirección (L) la onda viaja por un medio rocoso intacto, mientras que en la dirección opuesta (R) la onda debe atravesar el pre-corte PC.

Figura 33. Configuración de taladros de prueba – FPC.



Nota: Elaboración propia.

4.2.1.2. Lectura de sismógrafo

Prueba 01.

Figura 34. Registro de prueba 01.



Nota: Archivo personal.

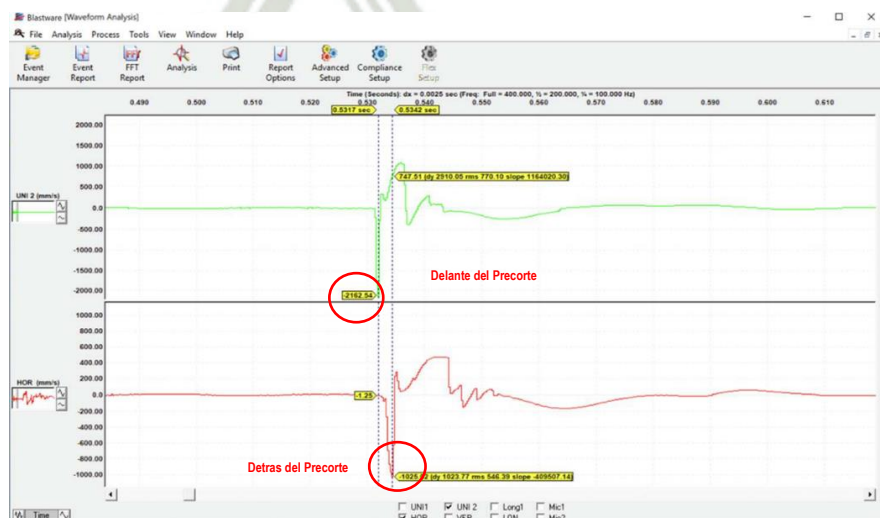
Figura 35. Resultados de vibración - Prueba 01.

Direccion L sin Precorte UNI 2	2071.29 mm/s
Direccion R con Precorte TRI-H	668.76 mm/s

Nota: Archivo personal.

Prueba 02.

Figura 36. Registro de prueba 02.



Nota: Archivo personal.

Tabla 9. Resultados de vibración - Prueba 02.

Dirección L sin Precorte UNI-2	2162.0 mm/s
Dirección R con Precorte TRI-H	1025.0 mm/s

Nota: Archivo personal.

Tabla 10. Cuadro resumen de prueba de filtro de Precorte.

Consideración	Prueba 01	Prueba 02
Sin Precorte	2071.29 mm/s	2162.0 mm/s
Con Precorte	668.76 mm/s	1025.0 mm/s
Filtro	67.71 %	52.59 %

Nota: Archivo personal.

Como se puede apreciar en la tabla N°10, detalla en resumen los resultados de las pruebas 01 y 02 de filtro de Precorte. Los valores obtenidos se encuentran por encima del 50 % (valor recomendado), esto es un indicador favorable que demuestra que la voladura de Precorte, es capaz de inducir fracturas en un plano para atenuar las vibraciones de la voladura principal lo cual depende mucho de la calidad de fracturas que se formen.

Las vibraciones se atenuarán rápidamente mientras estas fracturas crucen lo más abiertas posibles, para lograrlo el %FPC debe sobrepasar por lo menos el 50%. Según los resultados de ambas pruebas, todas ellas se encuentran dentro del rango esperado.

Por ende, se debe considerar la ejecución de taladros de precorte en paredes finales para la disminución de vibraciones producto de voladuras, si se desea efectuar un adecuado cuidado y control de taludes. Considerando la posibilidad de activación de fallas en los alrededores del tajo a causa de las vibraciones por voladura fuera de la zona geotécnica 4.

Figura 37. Rampa 9 bloqueado por desprendimiento de gran volumen de material de la zona geotécnica 4.



Nota: Archivo personal.

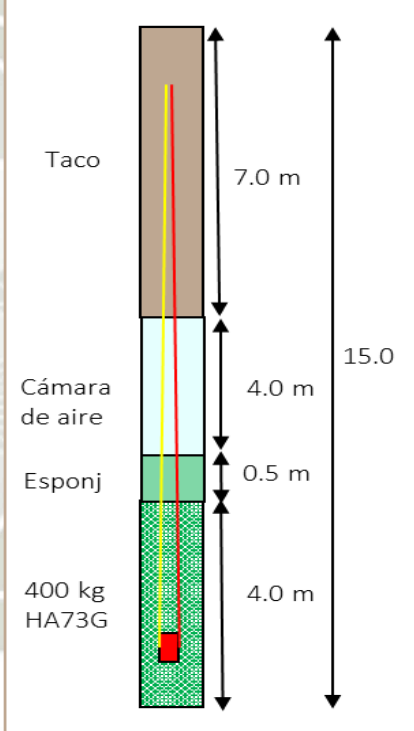
4.3. Diseño de secuencia de salida

El diseño de salida busca secuenciar de manera ordenada la detonación de cada taladro que está contemplado dentro de un proyecto de voladura, para ello es necesario conocer el tiempo aplicable más adecuado entre taladros y filas que mejor desempeño nos brinde en el apilamiento de mineral, control de dilución, desplazamiento de material, distribución energía y control de vibración.

4.3.1. Diseño de buffer y precorte

Tabla 11 Diseño de precorte

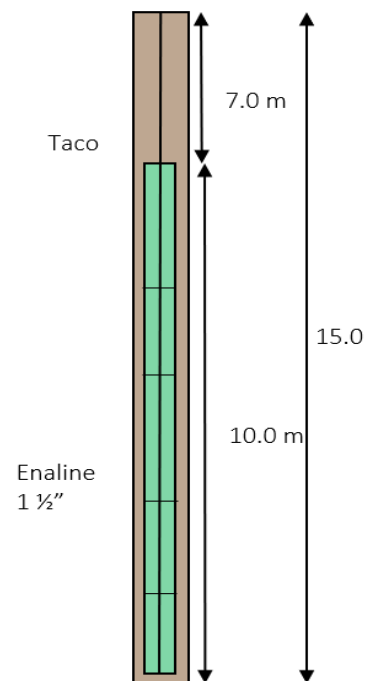
BUFFER	
Densidad de roca (g/cc)	2.65
Diámetro (Pulg)	12 1/4
Burden (m)	2.5
Espaciamiento (m)	5.0
Altura de banco (m)	15.0
Sobreperforación (m)	0
Esponjamiento (m)	0.50
Cámara de aire inferior (m)	4.0
Longitud de carga (m)	4.0
Cantidad de carga (kg)	400.0
Tipo de explosivo	HAG 70/30
Taco (m)	7.0
Tonelaje (ton)	1,599
Factor de potencia (kg/ton)	0.199



Nota: Elaboración propia.

Tabla 12 Diseño de Buffer

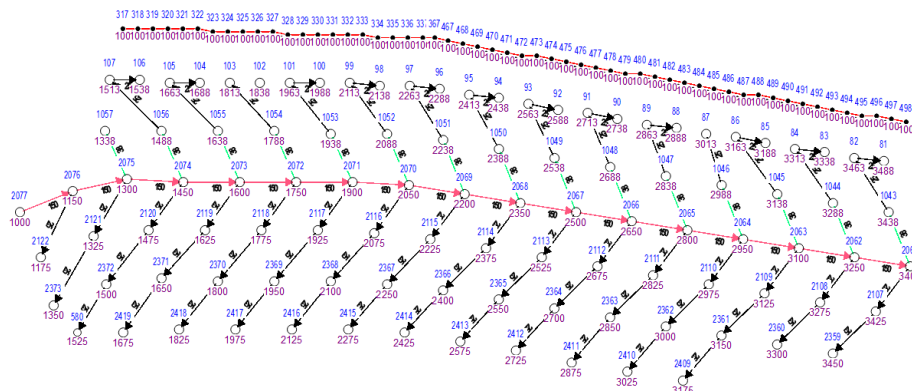
PRECORTE	
Densidad de roca (g/cc)	2.65
Diámetro (Pulg)	2 1/2
Burden (m)	0
Espaciamiento (m)	3.0
Altura de banco (m)	15.0
Sobreperforación (m)	0
Esponjamiento (m)	0.0
Cámara de aire inferior (m)	00
Longitud de carga (m)	10
Cantidad de carga (kg)	400.0
Tipo de explosivo	Enaline 1 1/2
Taco (m)	00
Densidad (gr/cc)	1 – 1.2
Energía (KJ/Kg)	997



Nota: Elaboración propia.

4.3.2. Diseño habitual de secuencia de salida

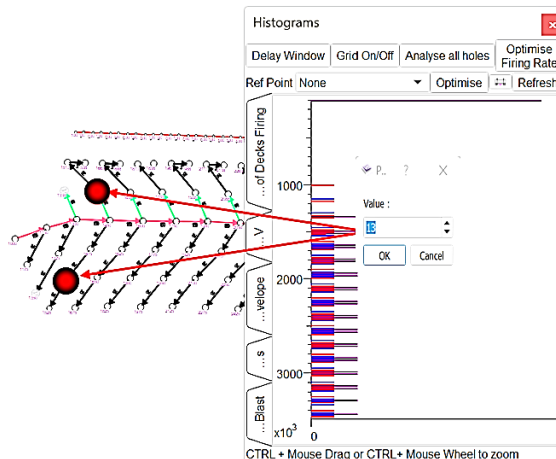
Figura 38. Diseño de secuencia de salida habitual en pared final proyecto 1-08-3690-231-A.



Nota: Elaboración propia.

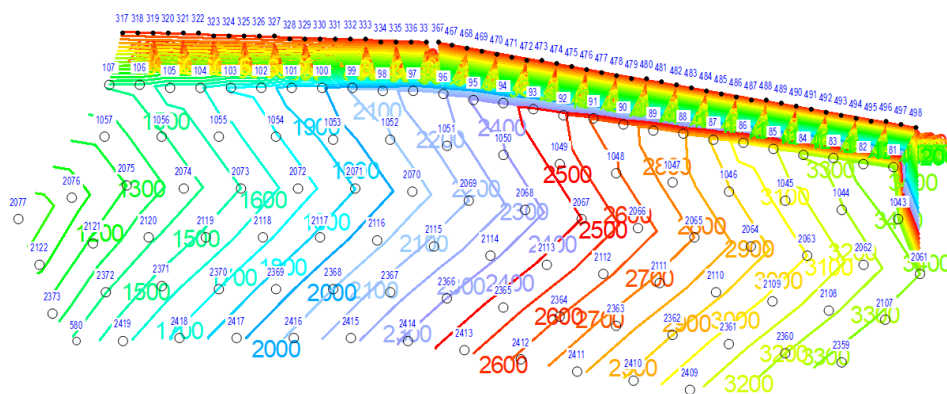
En la figura N°38, se muestra el diseño de secuencia que comúnmente se efectúa en los proyectos de voladura en tajo sur. Para este tipo de diseños siempre se generará un acople entre taladros en el quiebre de lados de la secuencia, el cual no es recomendable realizarlo en lugares próximos a zonas sensibles.

Figura 39. Acople de taladros 1-08-3690-231-A



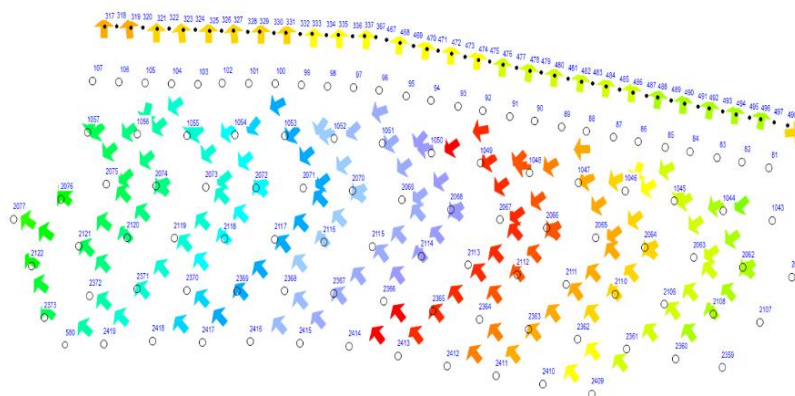
Nota: Elaboración propia.

Figura 40. Líneas de isotiempo proyecto 1-08-3690-231-A.



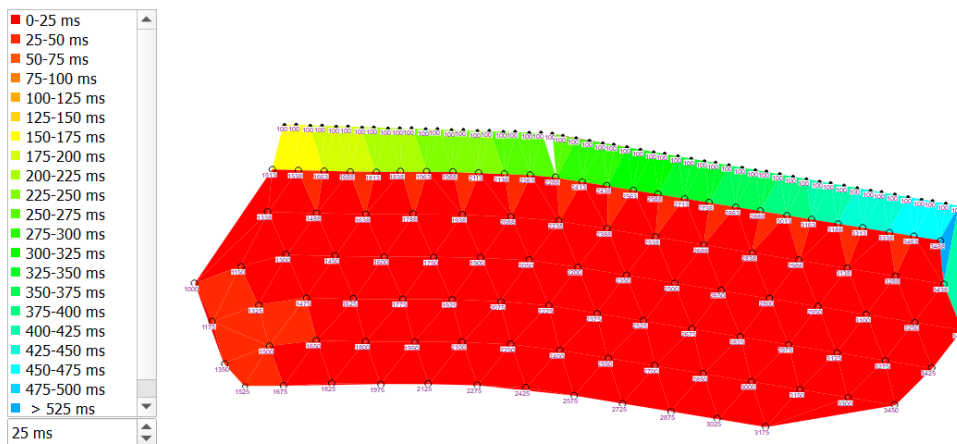
Nota: Elaboración propia.

Figura 41. Movimiento de material proyecto 1-08-3690-231-A.



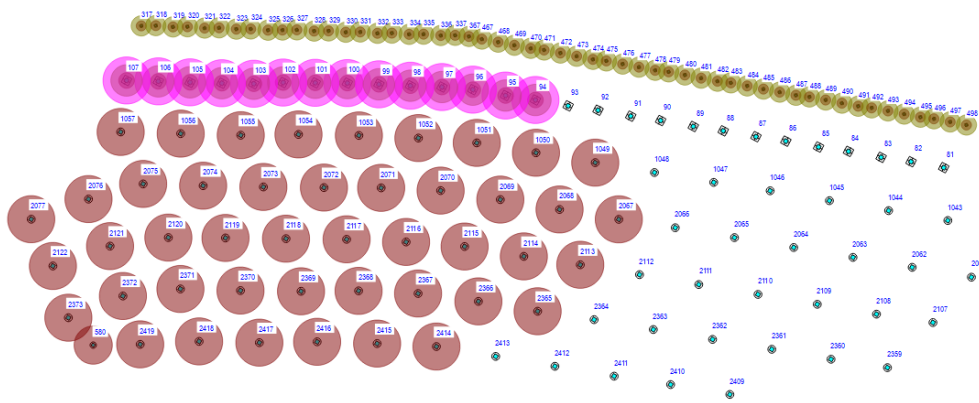
Nota: Elaboración propia.

Figura 42. Burden de alivio proyecto 1-08-3690-231-A.



Nota: Elaboración propia.

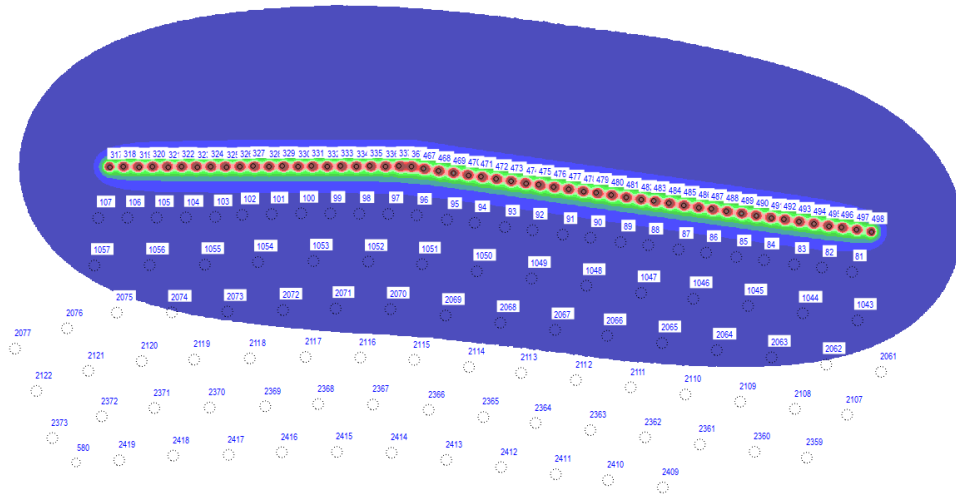
Figura 43. Simulación de detonación 1-08-3690-231-A.



Nota: Elaboración propia.

En la figura N°43, La detonación de taladros de Precorte genera un filtro de control al paso de vibraciones generadas por voladura, pero en el diseño en tipo “V” acoplado este filtro está expuesto a las interacciones de las ondas que genera la detonación de los taladros de producción. Según la secuencia de salida habitual, la detonación de taladros buffer siempre estará por detrás de los taladros de producción como se muestra en la figura

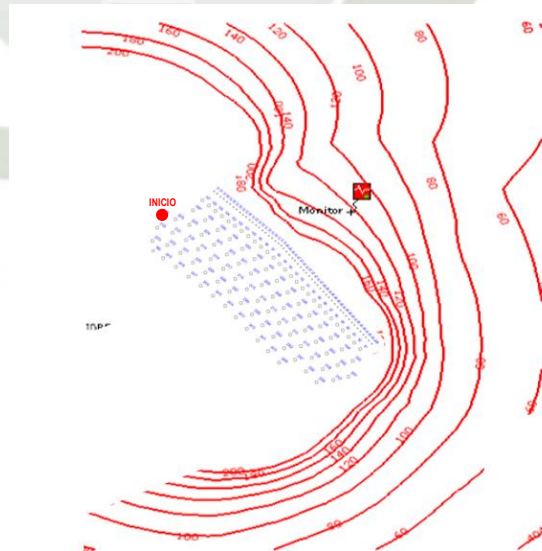
Figura 44. Halo de energía Precorte 1-08-3690-231-A.



Nota: Elaboración propia.

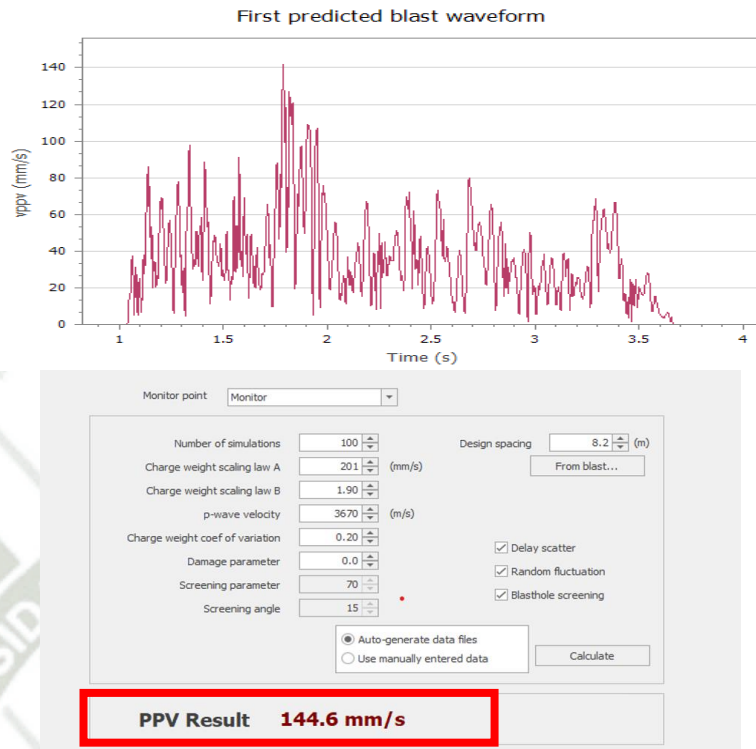
Considerando el proyecto 1-08-3690-231 donde todos los taladros de precorte tienen condiciones favorables en longitud, la eficiencia del precorte se verá reflejada en una disminución en el porcentaje al paso de vibraciones generadas por taladros de producción hacia las paredes finales, es decir el plano lineal discontinuo generado por el precorte trabajará y cumplirá su función dentro de los establecido.

Figura 45. Simulación de vibraciones 1-08-3690-231-A



Nota: Archivo personal.

Figura 46. Predicción de vibración de vibración 1-08-3690-231-A.

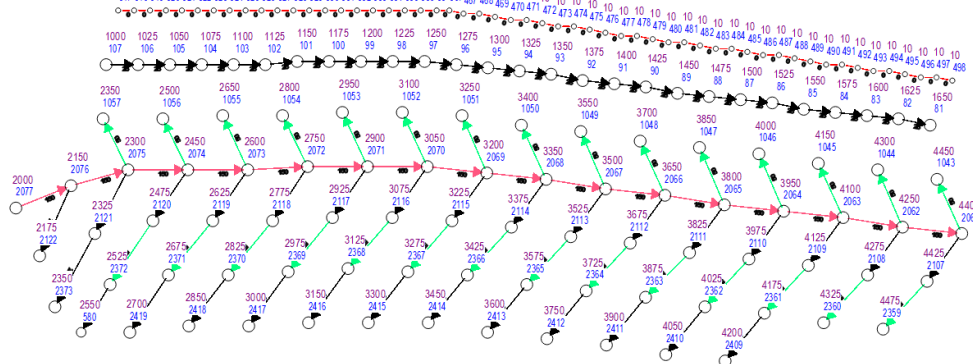


Nota: Archivo personal.

Empleando el diseño habitual se ha realizado la predicción de vibración a una distancia de 50 m, alcanzando un PPV de 144.6 mm/s.

4.3.3. Diseño de secuencia de salida “fila a fila”

Figura 47. Diseño de secuencia con nuevo diseño en pared final proyecto 1-08-3690-231-B.

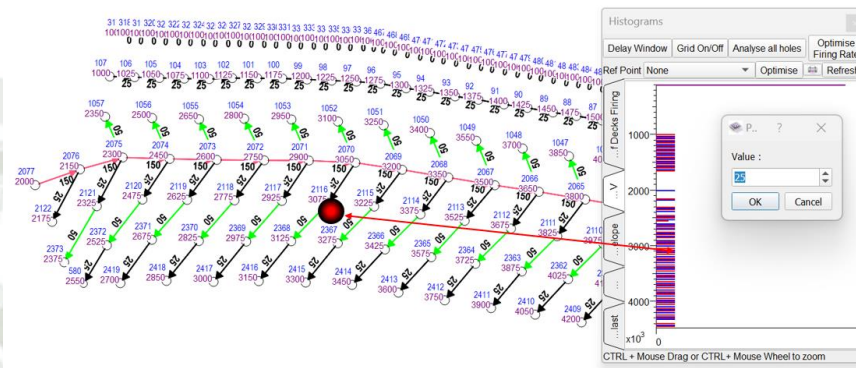


Nota: Elaboración propia.

En la figura N°47, se puede observar el nuevo diseño propuesto a mina, a diferencia de los diseños habituales, aquí no existe acople de taladros y la detonación se realiza filas por filas

y taladro por taladro a lo largo de la línea troncal del proyecto de voladura. Previamente a ello, la zona de buffer es detonada de forma lineal después del taladro de precorte con una separación de 500 ms (variable).

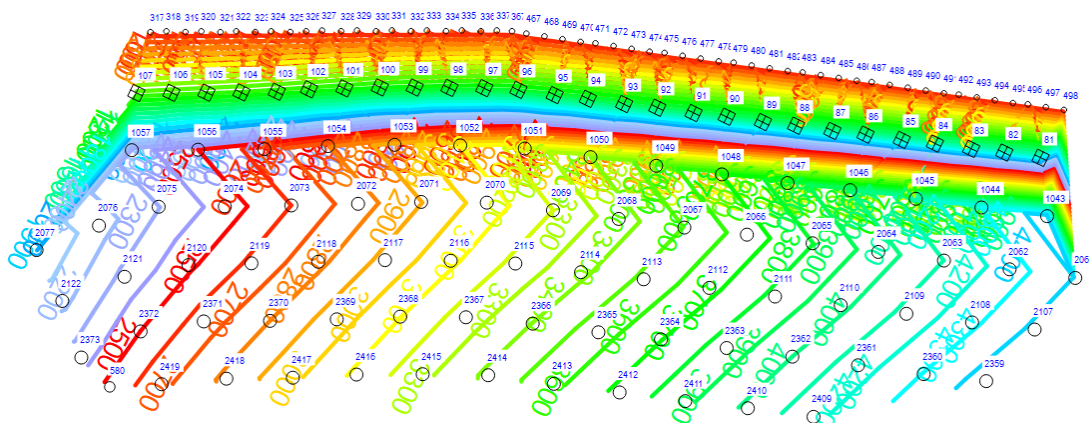
Figura 48. Acople de taladros 1-08-3690-231-B.



Nota. Archivo personal.

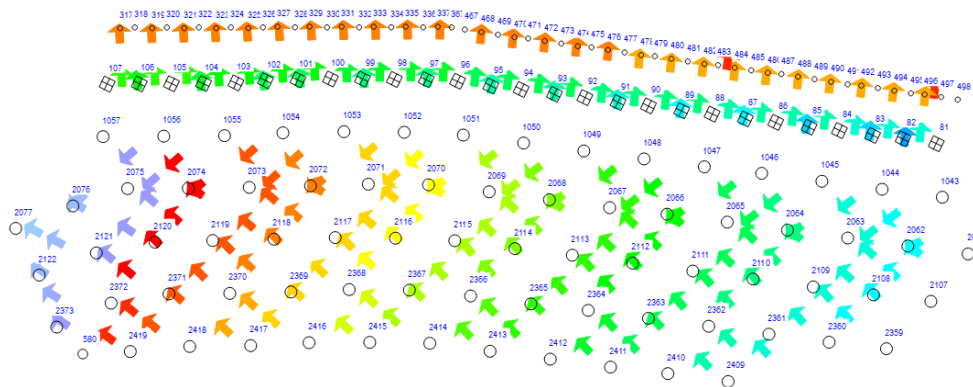
En la figura N°48, se puede observar el nuevo diseño propuesto a mina, a diferencia de los diseños habituales, aquí no existe acople de taladros y la detonación se realiza filas por filas y taladro por taladro a lo largo de la línea troncal del proyecto de voladura. Previamente a ello, la zona de buffer es detonada de forma lineal después de los taladros de Precorte.

Figura 49. Líneas de isotiempo proyecto1-08-3690-231-B.



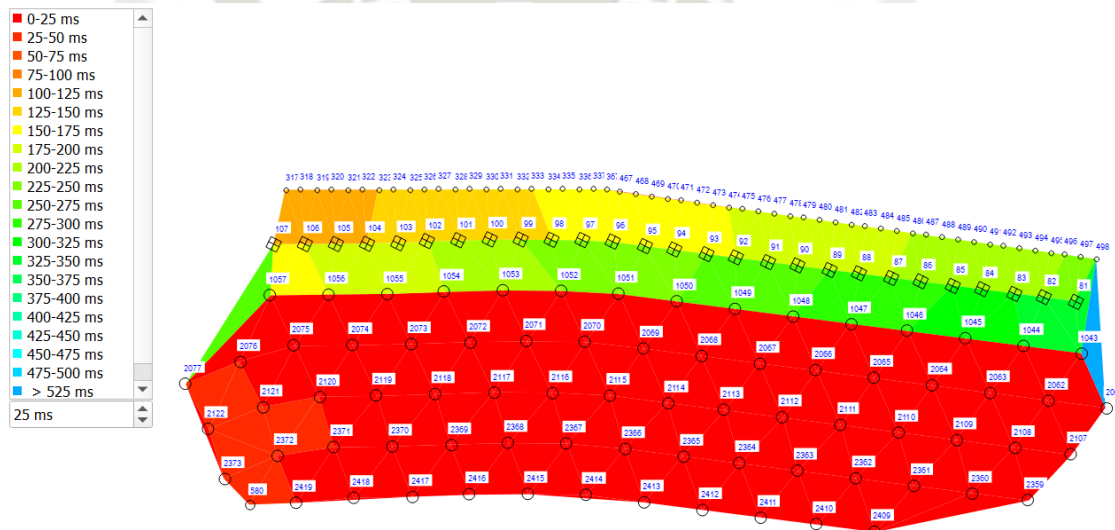
Nota: Elaboración propia.

Figura 50. Movimiento de material proyecto1-08-3690-231-B.



Nota: Elaboración propia.

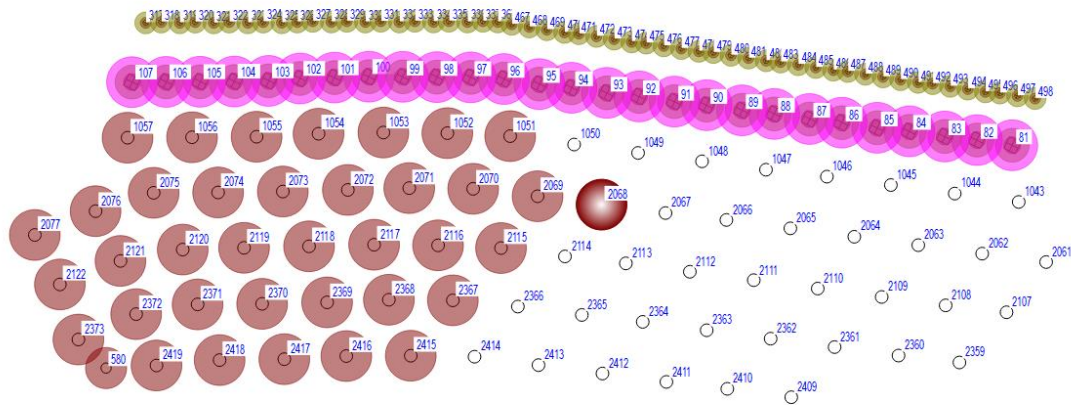
Figura 51. Burden de alivio proyecto 1-08-3690-231-B.



Nota: Elaboración propia.

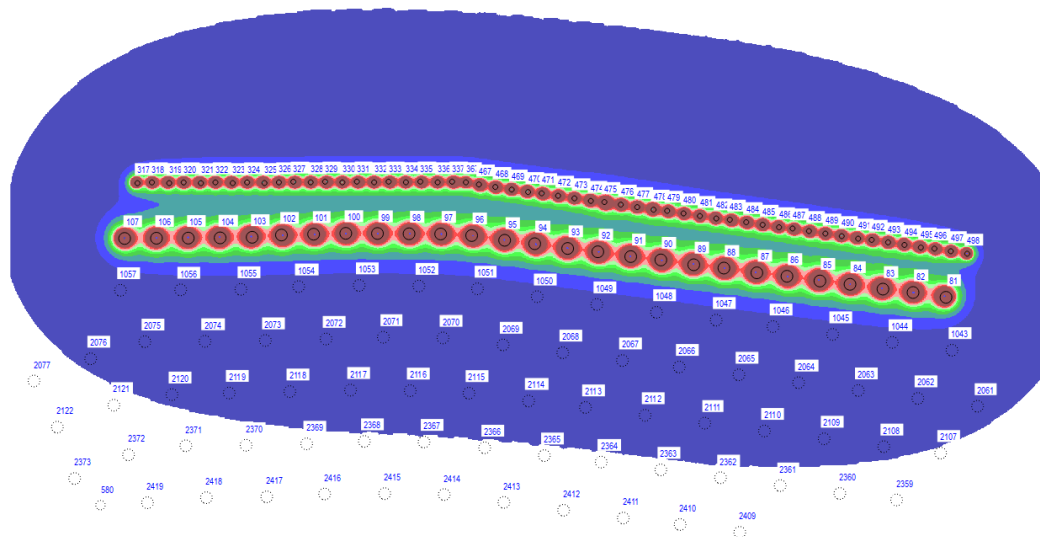
En la figura N°50, el movimiento de material y líneas de isotiempo no se ven afectadas por la implementación del diseño “fila a fila” y “taladro taladro”, tienen el mismo desplazamiento con la diferencia de la generación del segundo filtro favorable para la contención al paso de vibraciones por voladuras.

Figura 52. Simulación de detonación 1-08-3690-231-B.



Nota: Elaboración propia.

Figura 53. Halo de energía Precorte 1-08-3690-231-B.

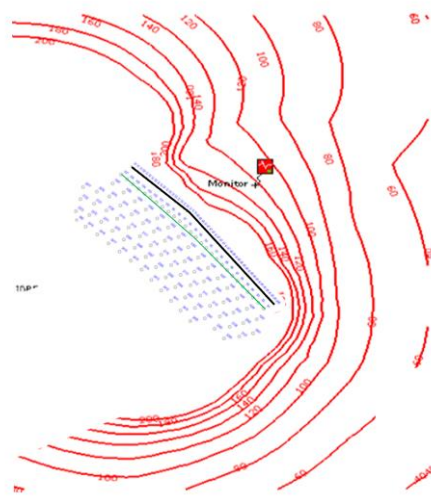


Nota: Elaboración propia.

La propagación de las ondas de los taladros de producción será contrarrestada por los 2 filtros generados por las detonaciones de las filas de precorte y buffer previamente a la salida de los taladros de producción. De esta forma, se podría minimizar el daño hacia las paredes por efectos de vibraciones de las voladuras.

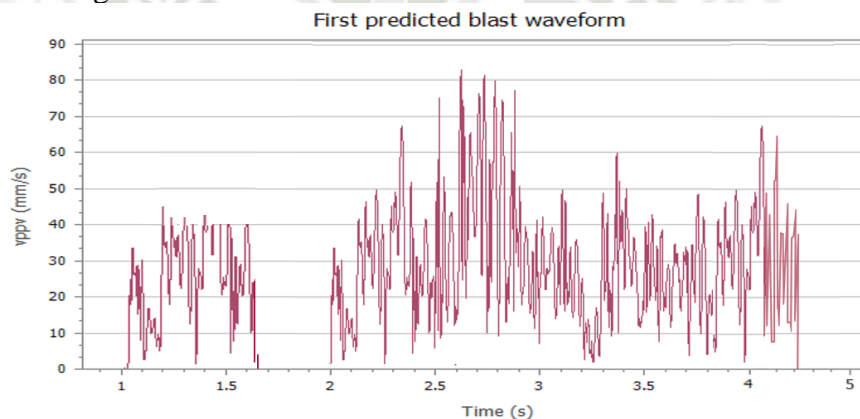
La propuesta de generar un segundo filtro en voladuras con paredes finales y la implementación de tiempo óptimos por onda elemental, favorece en la disminución de daño a taludes y zonas sensibles, puesto que el nivel de exposición a PPV elevadas se ve reducida gracias a las modificaciones realizadas en los diseños.

Figura 54. Simulación de vibraciones 1-08-3690-231-B.



Nota: Archivo personal.

Figura 55. Predicción de vibración de vibración 1-08-3690-231-B



Monitor point: Monitor

Number of simulations	100	Design spacing	8.2 (m)
Charge weight scaling law A	201 (mm/s)	From blast...	
Charge weight scaling law B	1.90		
p-wave velocity	36.70 (m/s)		
Charge weight coef of variation	0.20	<input checked="" type="checkbox"/> Delay scatter	
Damage parameter	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> Random fluctuation	
Screening parameter	70	<input checked="" type="checkbox"/> Blasthole screening	
Screening angle	15		

Auto-generate data files
 Use manually entered data

PPV Result 84.12 mm/s

Nota: Archivo personal.

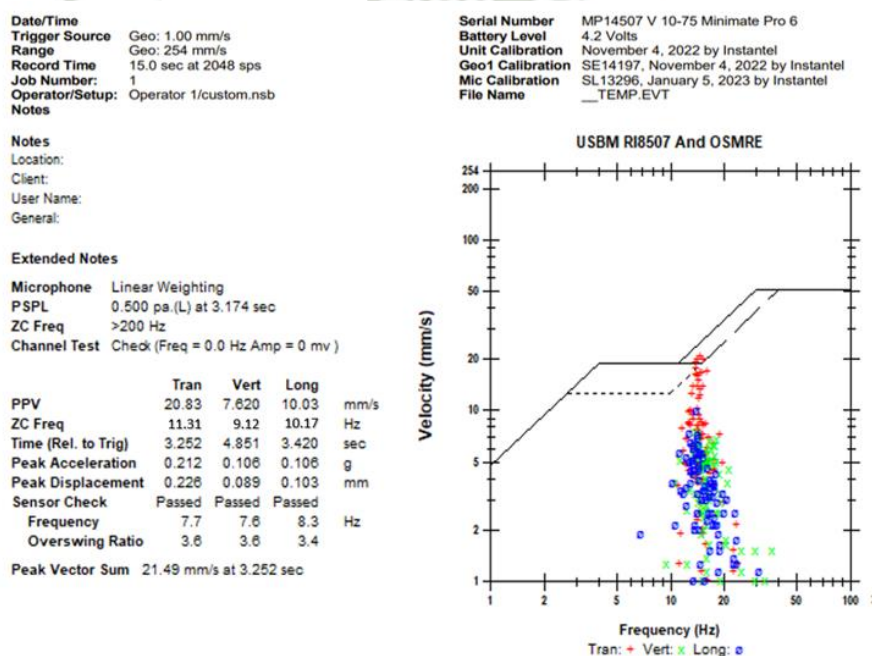
Empleando el diseño habitual se ha realizado la predicción de vibración a una distancia de 50 m, alcanzando un PPV de 84.12 mm/s.

4.4. Registros sísmicos en la zona geotécnica 4 sin tiempos óptimos

Se realizó el monitoreo de vibración generadas por voladuras en la zona de geotécnica 4, antes del del cambio de tiempos óptimos. Se ubico el sismógrafo en el pie de la rampa de la pared con presencia de fallas.

En el proyecto 1-08-3735-211, se disparó un total de 81 taladros de producción (Mineral – HA73G) con tiempos entre taladros de 13 ms, 20 ms y un tiempo entre filas de 150 ms. registrándose una **PVS de 21.49 mm/s** a una distancia de monitoreo de 190 m con una **frecuencia de 11.31, 9.12 y 10.17 Hz**

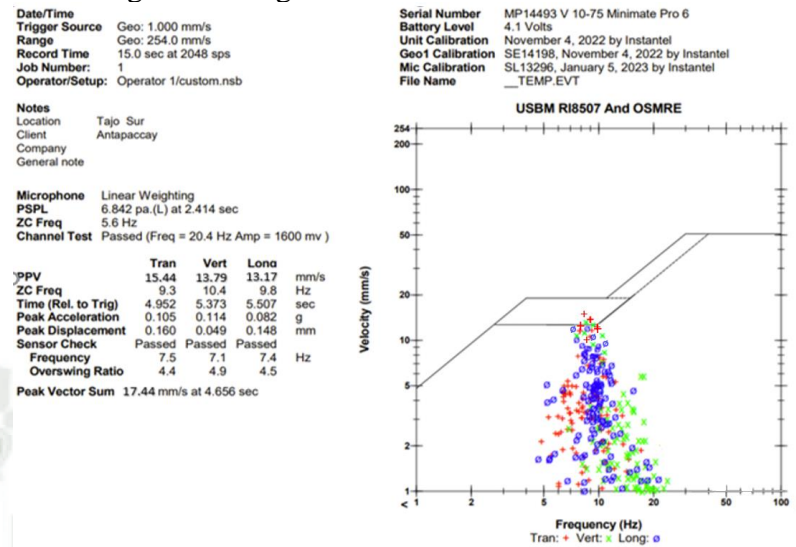
Figura 56. Registro de vibración 1-08-3735-211.



Nota: Archivo personal.

En el proyecto 1-08-3735-182, se disparó un total de 105 taladros de producción (Desmorte – HA73G) con tiempos entre taladros de 17 ms, 26 ms y tiempo entre filas de 150 ms, registrándose una **PVS de 17.44 mm/s** a una distancia de monitoreo de 280 m con **frecuencias de 9.30, 10.4 y 9.8 Hz**.

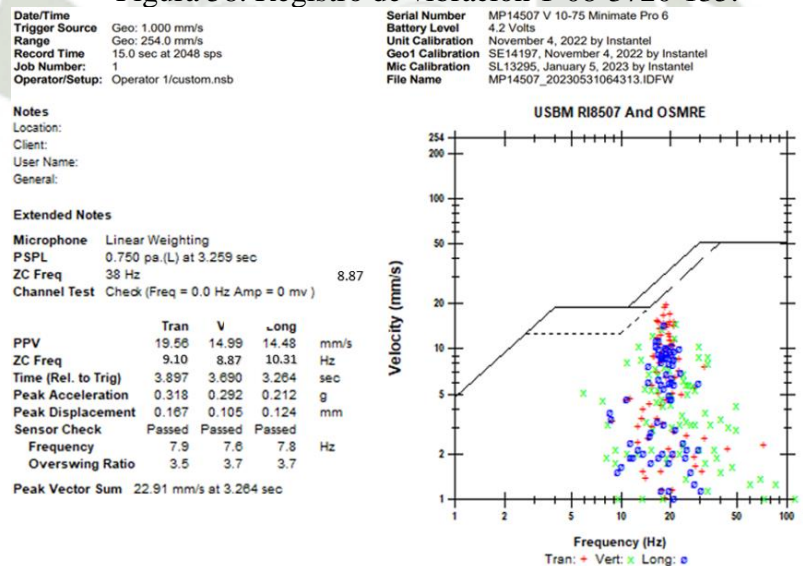
Figura 57. Registro de vibración 1-08-3735-182.



Nota: Archivo personal.

En el proyecto 1-08-3720-135, se disparó un total de 78 taladros de producción (Desmorte – HA73G) con tiempos entre taladros de 17 ms y tiempo entre filas 150 ms, registrándose una **PVS de 22.91 mm/s** a una distancia de monitoreo de 185.0 m con un rango de **frecuencia de 9.10, 8.87 y 10.31 Hz**.

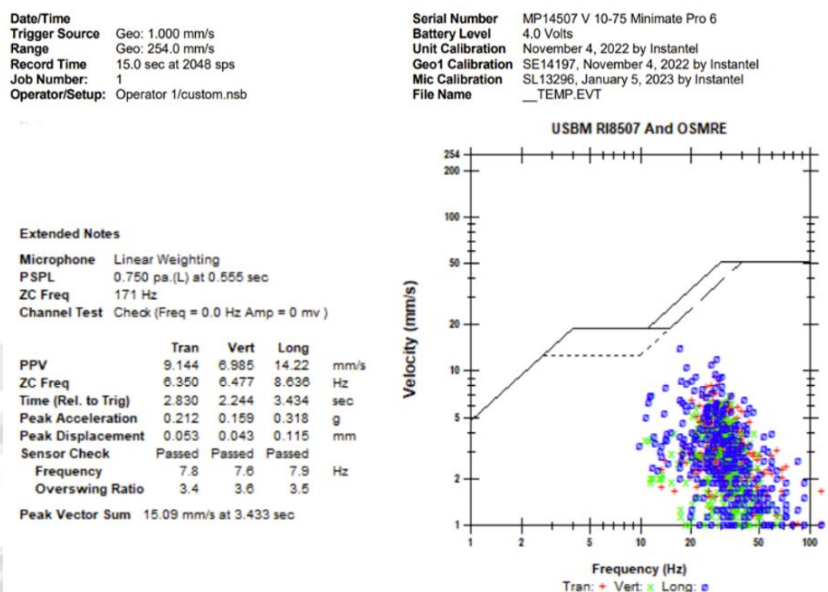
Figura 58. Registro de vibración 1-08-3720-135.



Nota: Archivo personal.

En el proyecto 1-08-3720-133, se disparó un total de 133 taladros de producción (Desmorte – HA73G) con tiempos entre taladros de 17 ms y 150 ms, registrándose una **PVS de 15.09 mm/s** a una distancia de monitoreo de 210 m con un rango de **frecuencia de 6.35, 6.47 y 8.63 Hz**.

Figura 59. Registro de vibración 1-08-3720-133.



Nota: Archivo personal.

Tabla 13. Niveles de vibración sin aplicar tiempos óptimos.

REGISTROS DE PPV SIN TIEMPOS ADECUADOS									
NIVEL	PROYECTO	ZONA	MATERIAL	Tiempo/ Taladros (ms)	Tiempo/Filas/ Control (ms)	Distancia (m)	Trans (mm/s)	Vert (mm/s)	Long (mm/s)
3735	211	TS-G4	Desmonte	13/20	150	190	20.83	7.62	10.03
3735	182	TS-G4	Desmonte	17/26	150	280	15.44	13.79	13.17
3720	135	TS-G4	Desmonte	17	150	185	19.56	14.99	14.48
3720	133	TS-G4	Desmonte	17	150	210	9.14	6.98	14.22

Nota: Elaboración propia.

Tabla 14. Niveles de Frecuencia sin aplicar Tiempos Óptimos.

REGISTROS DE FRECUENCIAS SIN TIEMPOS ADECUADOS									
NIVEL	PROYECTO	ZONA	MATERIAL	Tiempo/ Taladros (ms)	Tiempo/Filas/ Control (ms)	Distancia (m)	Trans (Hz)	Vert (Hz)	Long (Hz)
3735	211	TS-G4	Desmonte	13/20	150	190	11.31	9.12	10.17
3735	182	TS-G4	Desmonte	17/26	150	280	9.30	10.4	9.80
3720	135	TS-G4	Desmonte	17	150	185	9.10	8.87	10.31
3720	133	TS-G4	Desmonte	17	150	210	6.35	6.47	8.63

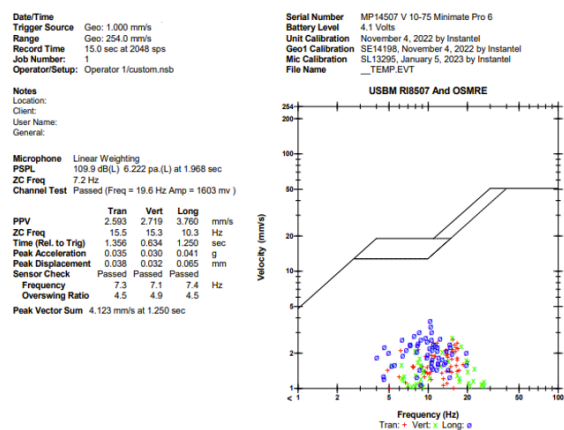
Nota: Elaboración propia.

4.5. Registros sísmicos en la zona geotécnica 4 a partir de la implementación de tiempos adecuados

Del análisis de onda elemental, se determinó diferentes tiempos óptimos los niveles de 3720 y 3705 en Fase 8, ahora toca poner a prueba la aplicación de estos tiempos y analizar los resultados que se tendrán en términos de PPV y Frecuencia. Los resultados de estos indicadores serán comparados con los valores anteriormente hallados de los proyectos de voladuras a los cuales no se consideró la aplicación de tiempos óptimos.

En el proyecto 1-08-3720-147, se disparó un total de 123 taladros de producción (Desmonte – HA73G) con tiempos entre taladros de 25 ms y 150 ms, registrándose una **PVS de 4.123 mm/s** a una distancia de monitoreo de 215 m con un rango de **frecuencia de 15.50, 15.30 y 10.30 Hz.**

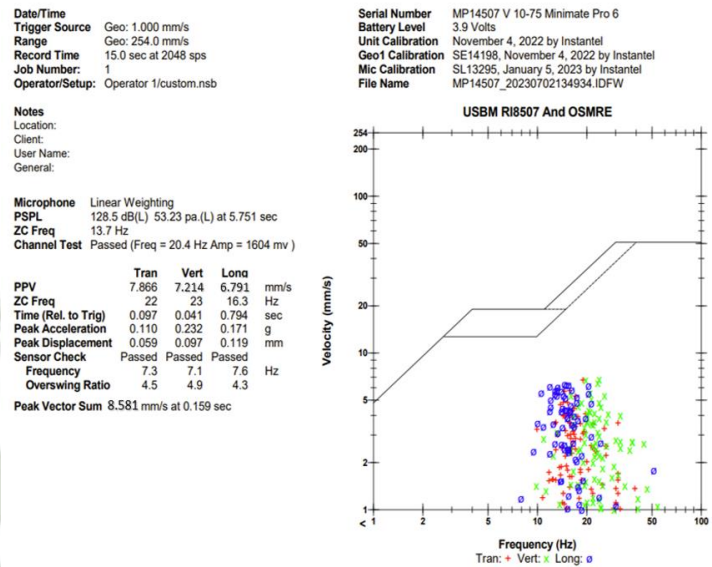
Figura 60. Registro de vibración 1-08-3720-147.



Nota: Archivo personal.

En el proyecto 1-08-3720-149, se disparó un total de 97 taladros de producción (Desmonte – HA73G) con tiempos entre taladros de 25 ms y 150 ms, registrándose una **PVS de 8.581 mm/s** a una distancia de monitoreo de 200 m con un rango de **frecuencia de 22.00, 23.00 y 16.30 Hz.**

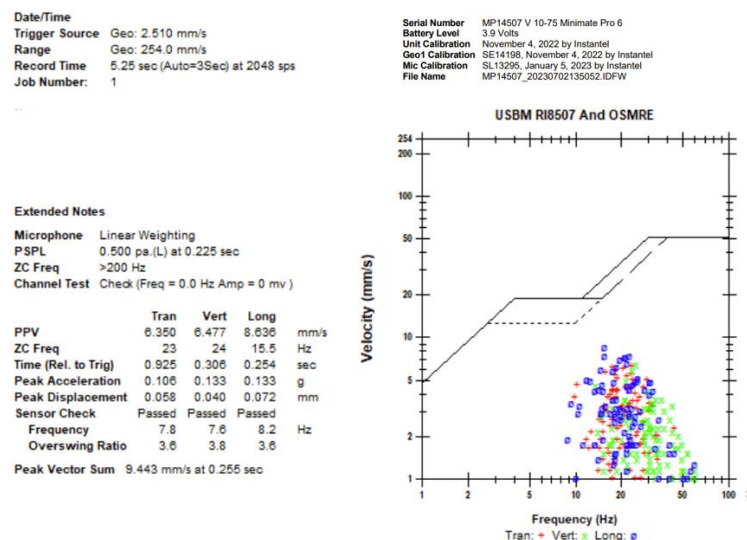
Figura 61. Registro de vibración 1-08-3720-149



Nota: Archivo personal.

En el proyecto 1-08-3705-144, se disparó un total de 133 taladros de producción (Mineral – HA73G) con tiempos entre taladros de 31 ms y 150 ms, registrándose una **PVS de 9.443 mm/s** a una distancia de monitoreo de 225 m con un rango de **frecuencia de 23.00, 24.00 y 15.50 Hz.**

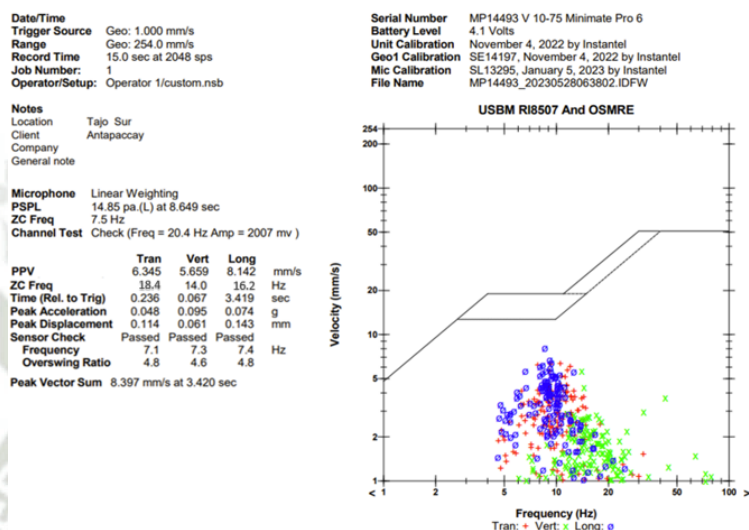
Figura 62. Registro de vibración 1-08-3705-144.



Nota: Archivo personal.

En el proyecto 1-08-3705-145, se disparó un total de 133 taladros de producción (Desmorte – HA73G) con tiempos entre taladros de 31 ms y 150 ms, registrándose una **PVS de 8.397 mm/s**, monitoreo a 210 m con un rango de **frecuencia de 18.40, 14.00 y 16.20 Hz**.

Figura 63. Registro de vibración 1-08-3705-145.



Nota: Archivo personal.

Tabla 15. Niveles de frecuencia aplicando tiempos adecuados.

REGISTROS DE PPV CON TIEMPOS ADECUADOS									
NIVEL	PROYECTO	ZONA	MATERIAL	Tiempo/ Taladros (ms)	Tiempo/Filas/ Control (ms)	Distancia (m)	Trans (mm/s)	Vert (mm/s)	Long (mm/s)
3720	147	TS-G4	Desmorte	25-ff-tt	150	215	2.59	2.71	3.76
3720	149	TS-G4	Desmorte	25-ff-tt	150	200	7.86	7.21	6.79
3705	144	TS-G4	Desmorte	31-ff-tt	150	225	6.35	6.47	8.63
3705	145	TS-G4	Desmorte	31-ff-tt	150	210	6.34	5.65	8.14

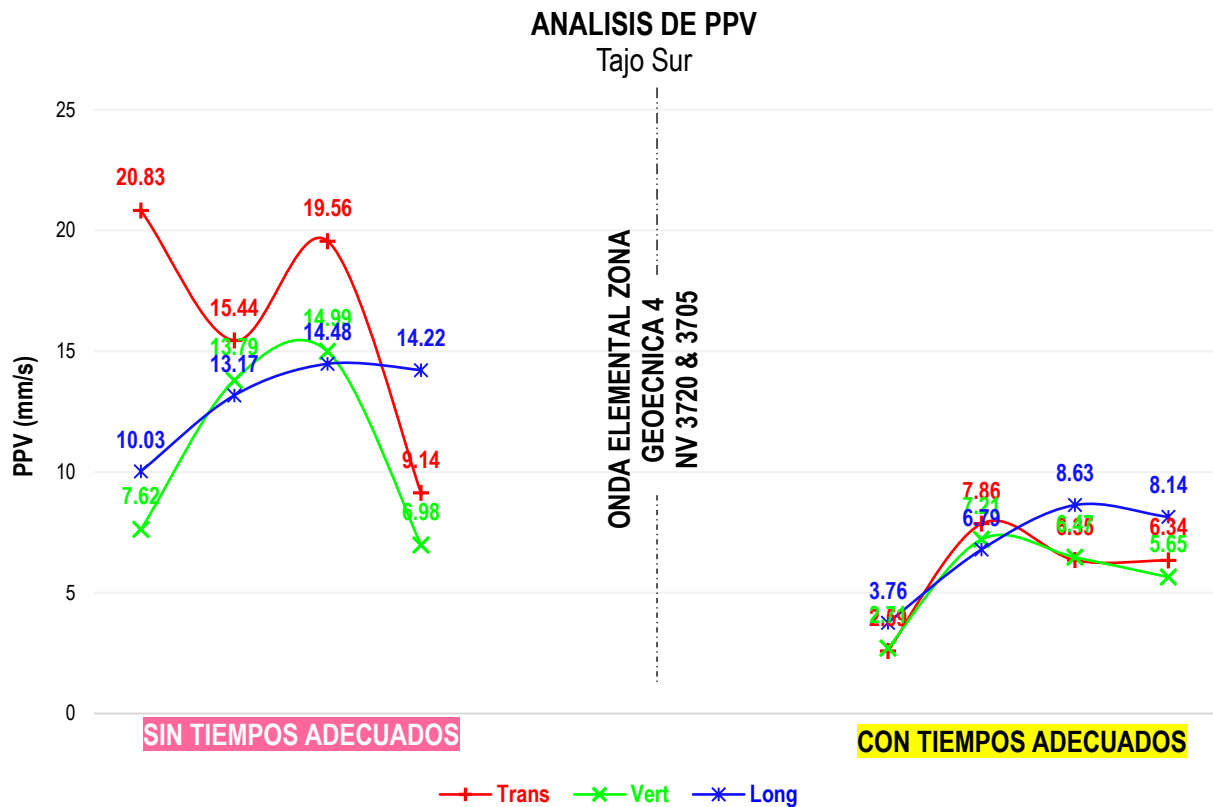
Nota: Elaboración propia.

Tabla 16. Niveles de frecuencia aplicando tiempos adecuados.

REGISTROS DE FRECUENCIAS CON TIEMPOS ADECUADOS									
NIVEL	PROYECTO	ZONA	MATERIAL	Tiempo/ Taladros (ms)	Tiempo/Filas/ /Control (ms)	Distancia (m)	Trans (mm/s)	Vert (mm/s)	Long (mm/s)
3720	147	TS-G4	Desmorte	25-ff-tt	150	215	15.50	15.30	10.30
3720	149	TS-G4	Desmorte	25-ff-tt	150	200	22.00	23.00	16.30
3705	144	TS-G4	Desmorte	31-ff-tt	150	225	23.00	24.00	15.50
3705	145	TS-G4	Desmorte	31-ff-tt	150	210	18.40	14.0	16.20

Nota: Elaboración propia.

Figura 64. Análisis de PPV en zona geotécnica 4 Tajo Sur.



Nota: Elaboración propia.

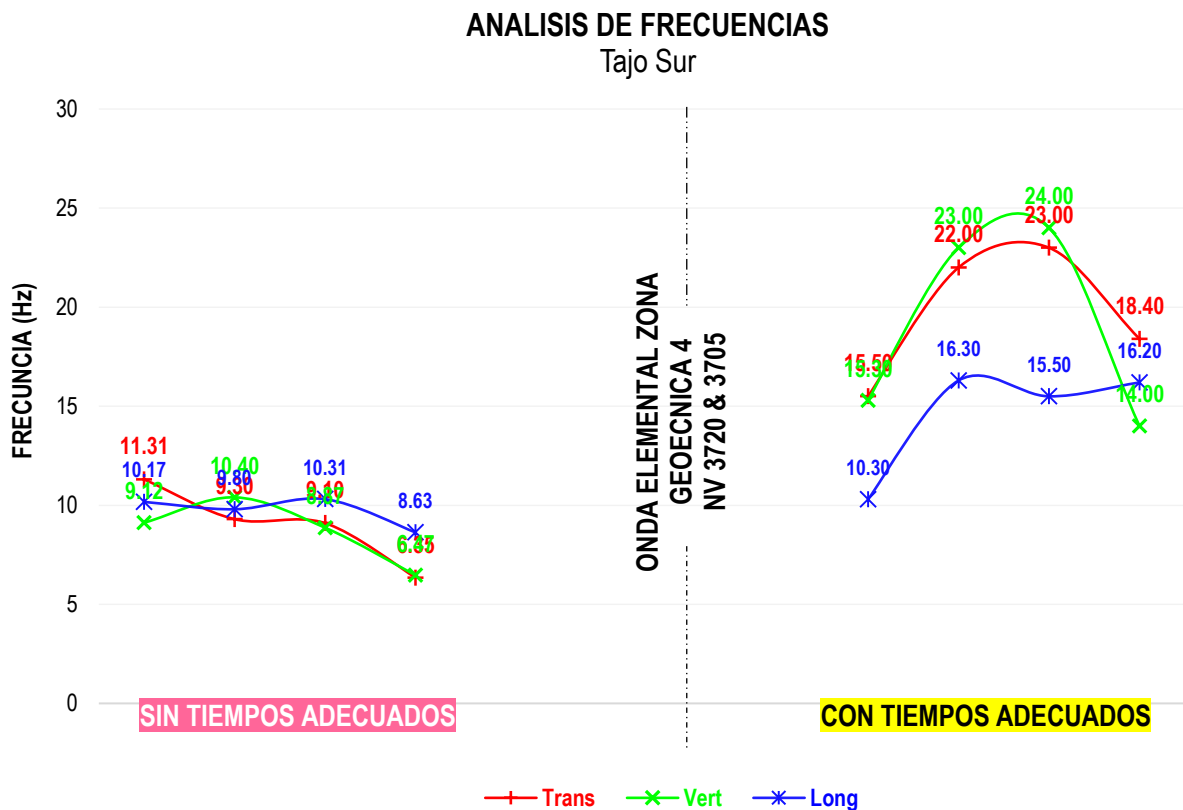
En la figura N°64, representa el comportamiento de la PPV en los tres vectores de movimiento. Las ondas que registran menor nivel de PPV son aquellas voladuras a las cuales se implementó el tiempo óptimo de 25 ms y 31 ms calculados en el estudio de onda elemental para la zona de geotécnica 4.

Contrario a lo que sucede con el movimiento de las ondas sin tiempos óptimos que tienen o describen niveles de velocidad mucho más elevados con potencial de daño.

El objetivo es que se obtenga lo menores registros de vibración para este punto de control, a fin poder minimizar el impacto que provoca picos de PPV elevados.

Se consideró diseños de secuencia de salida tipo “taladro a taladro” y “fila a fila” direccionados a áreas estables. o vacíos (cresta).

Figura 65. Análisis de frecuencias Zona geotécnica 4 Tajo Sur.

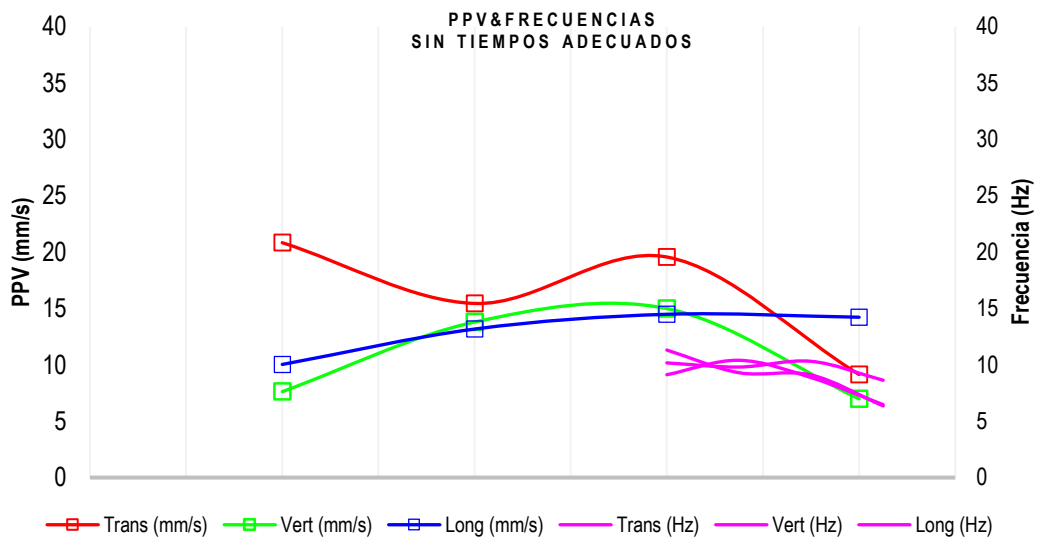


Nota: Elaboración propia.

Comparando los registros de frecuencia, se puede observar que en aquellas voladuras donde se ejecutaron sin tiempos óptimos arrojan frecuencias bajas por debajo de los 11.31 Hertz, contrario a voladuras con tiempos óptimos que se ha logrado frecuencias altas con picos de 24 Hertz en el vertical.

Esta diferencia favorece al incremento del ciclo de propagación de la onda, al existir un mayor número de ciclos la onda vibracional pierde energía (fricción de las partículas en movimiento) rápidamente por lo que la longitud de onda va disminuyendo en su dimensión hasta atenuarse completamente en su dirección de preparación.

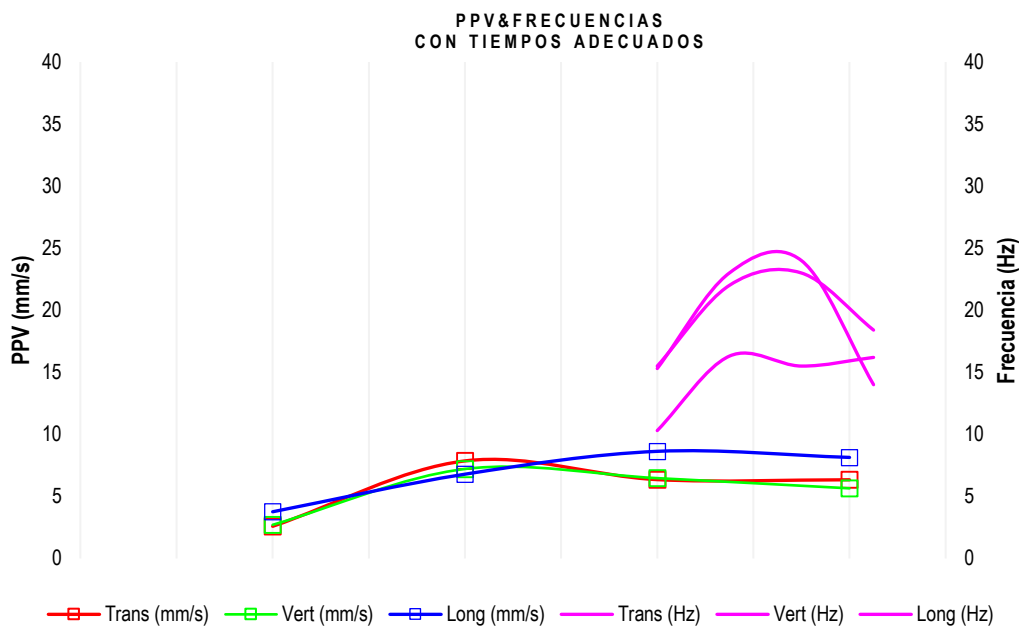
Figura 66. PPV & Frecuencia sin Tiempos Óptimos.



Nota: Elaboración propia.

La elección de tiempos inadecuados en los proyectos de voladura conlleva a obtener resultados de PPV y Frecuencia irregulares dañinas hacia estructuras sensibles del tajo como la zona geotécnica 4. La propagación de ondas por un medio rocoso tiende a generar amplitudes regulares pequeñas no perjudiciales que provoquen algún tipo de desplazamiento, lo contrario sucede cuando estas mismas ondas cambian de un medio rocoso hacia sedimentos blandos (suelos).

Figura 67. PPV & Frecuencia con Tiempos Óptimos



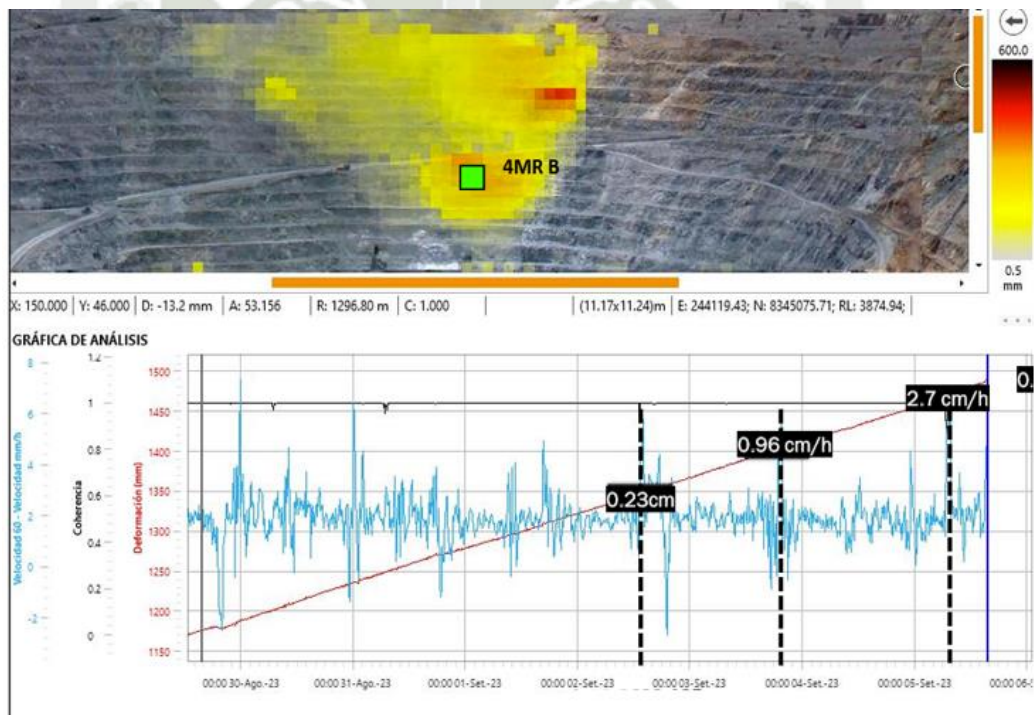
Nota: Elaboración propia.

La figura N°67, describe un comportamiento inverso al de la figura N°66. En este caso con la aplicación de tiempos óptimos se logra producir velocidades de partícula bajas con frecuencias altas para los proyectos de voladura analizados, resultando beneficioso debido a que la exposición PPV se ha reducido significativamente y con ella el control de la amplificación de ondas.

4.6. Desempeño de estabilidad de deformación en la zona geotécnica 4.

El impacto de la implementación de tiempos a partir del estudio de onda elemental se ha visto reflejada en la reducción de las deformaciones y desplazamientos causadas e inducidas por voladuras contiguas a la zona geotécnica 4.

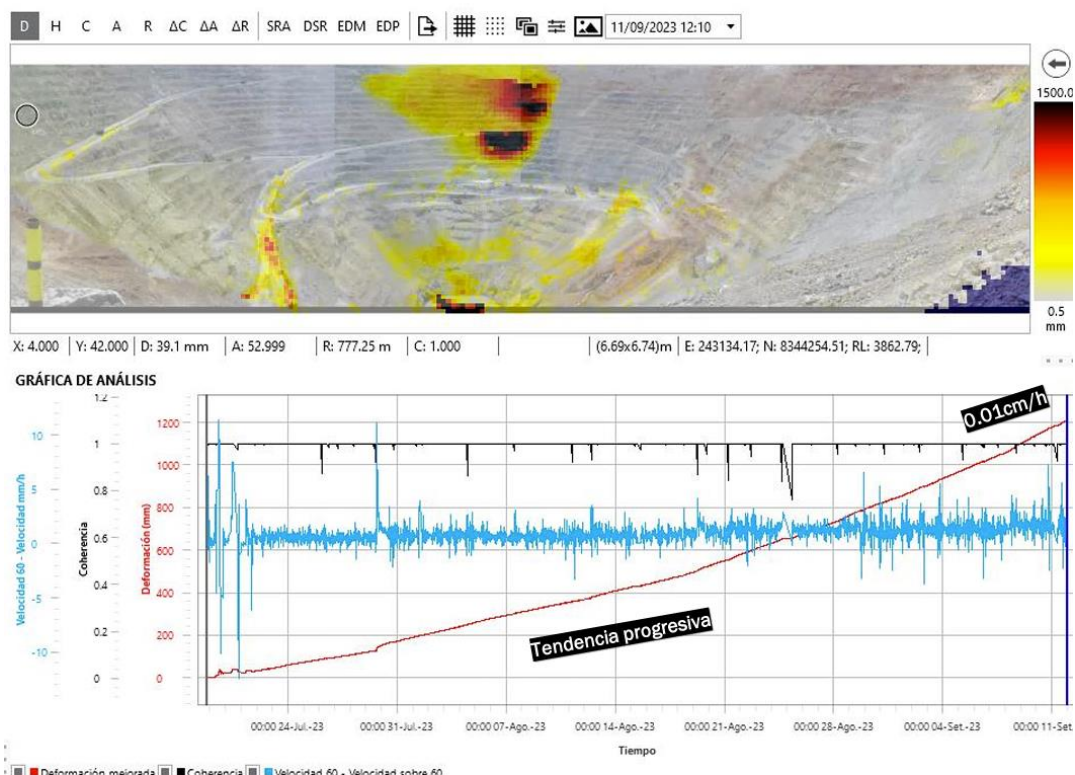
Figura 68. Conciliación geotécnica de taludes - Semana 36.



Nota: Geotécnica Mina.

En la figura N°68, se observa deformación a razón de 0.23cm/h, 0.96cm/h y 2.7 cm/h. Con una deformación acumulada de 134.70 cm desde 30-08-23 hasta 05-09-23.

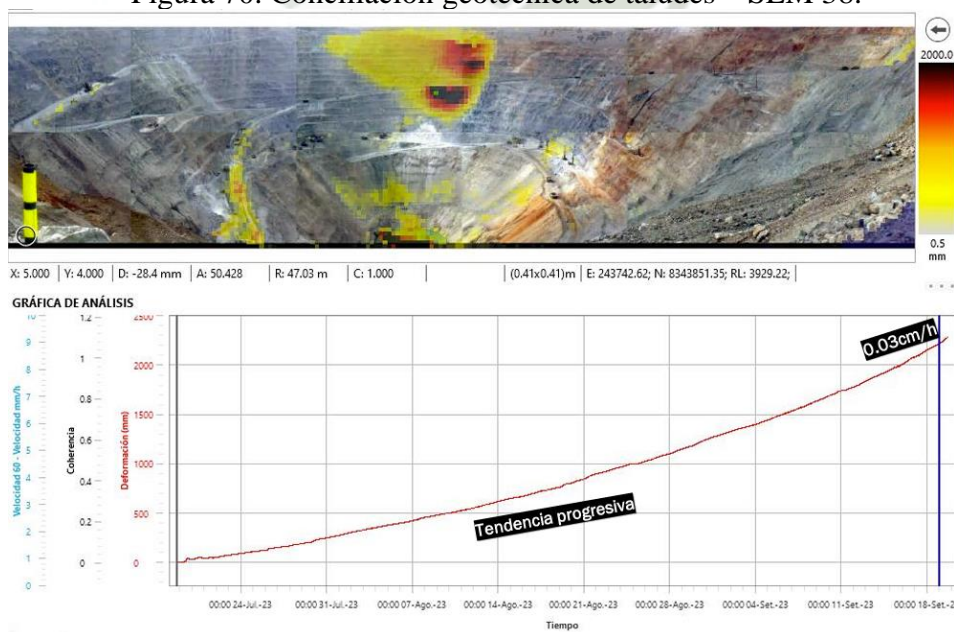
Figura 69. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 37.



Nota: Geotecnia Mina.

En la figura N°69, se observa deformación a razón de 0.01cm/h. Con una deformación acumulada de 167.00 cm desde 23-07-23 hasta 11-09-23.

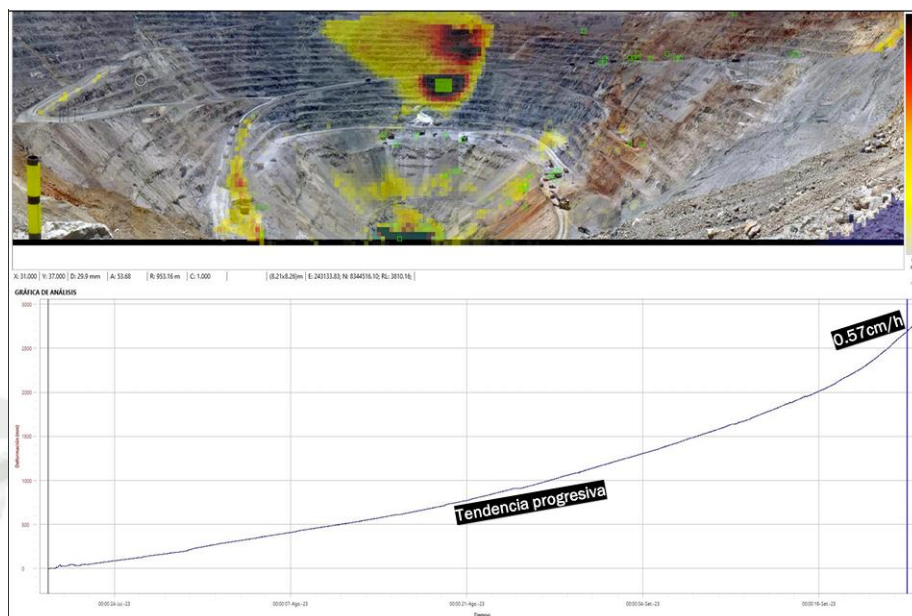
Figura 70. Conciliación geotécnica de taludes – SEM 38.



Nota: Geotecnia Mina.

En la figura N°70, se observa deformación a razón de 0.03 cm/h. Con una deformación acumulada de 207.7 cm desde 23-07-23 hasta 19-09-23.

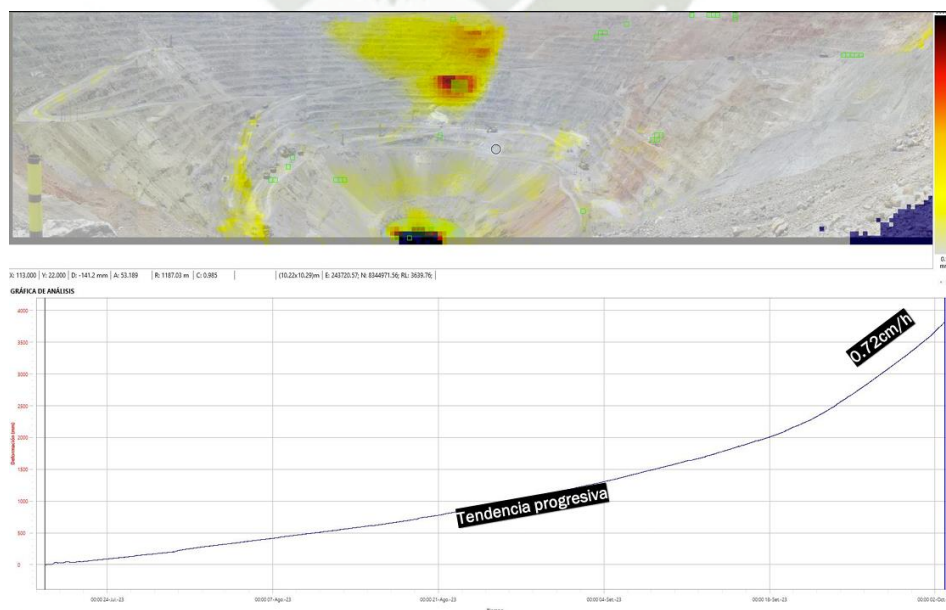
Figura 71. Conciliación geotécnica de taludes – SEM 39.



Nota: Geotécnica Mina.

En la figura N°71, se observa deformación a razón de 0.57 cm/h. Con una deformación acumulada de 277.80 cm desde 23-07-23 hasta 25-09-23.

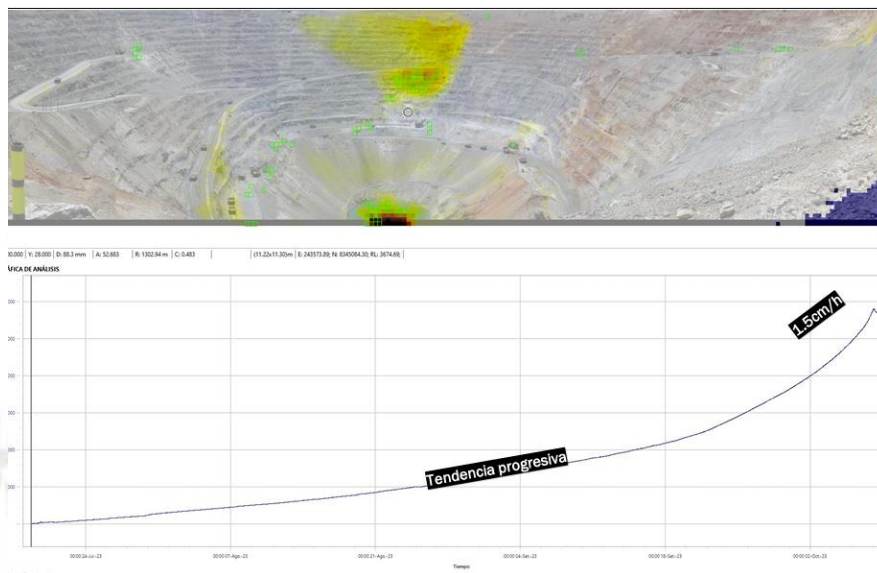
Figura 72. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 40.



Nota: Geotecnia mina.

En la figura N°72, se observa deformación a razón de 0.72 cm/h. Con una deformación acumulada de 379.80 cm desde 23-07-23 hasta 02-10-23.

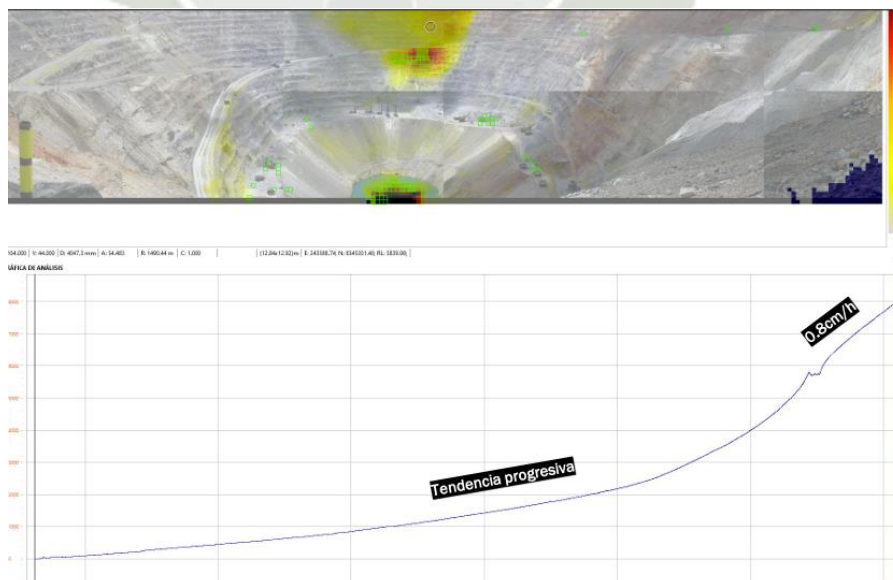
Figura 73. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 41.



Nota: Geotecnia mina.

En la figura N°73, se observa deformación a razón de 1.50 cm/h. Con una deformación acumulada de 604.50 cm desde 23-07-23 hasta 02-10-23.

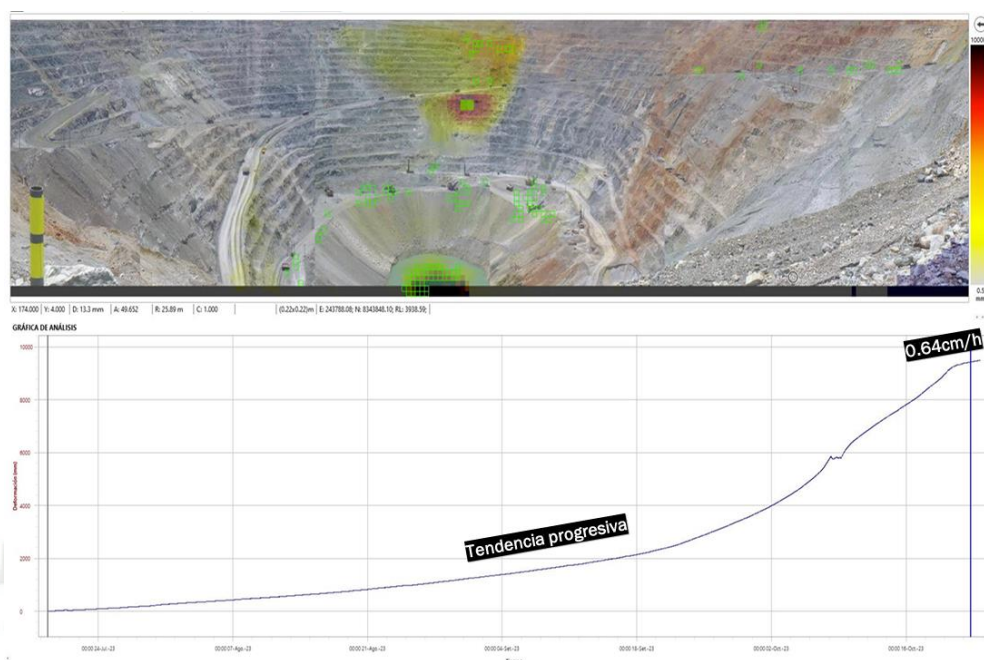
Figura 74. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 42.



Nota: Geotecnia mina.

En la figura N°74, se observa deformación a razón de 0.80 cm/h. Con una deformación acumulada de 800.00 cm desde 23-07-23 hasta 17-10-23.

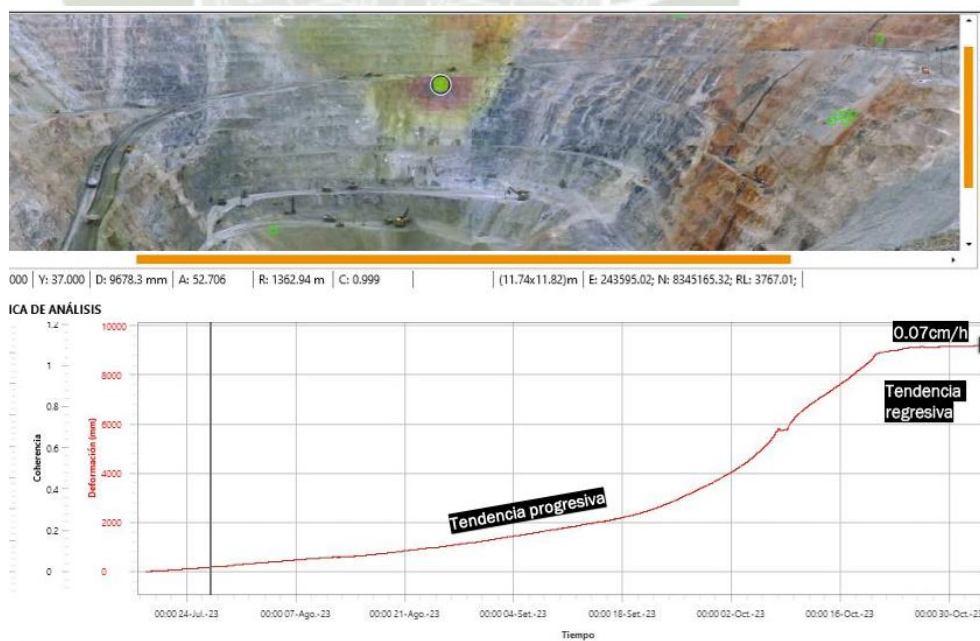
Figura 75. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 43.



Nota: Geotecnia Mina.

En la figura N°75, se observa deformación a razón de 0.64 cm/h. Con una deformación acumulada de 899.00 cm desde 23-07-23 hasta 23-10-23.

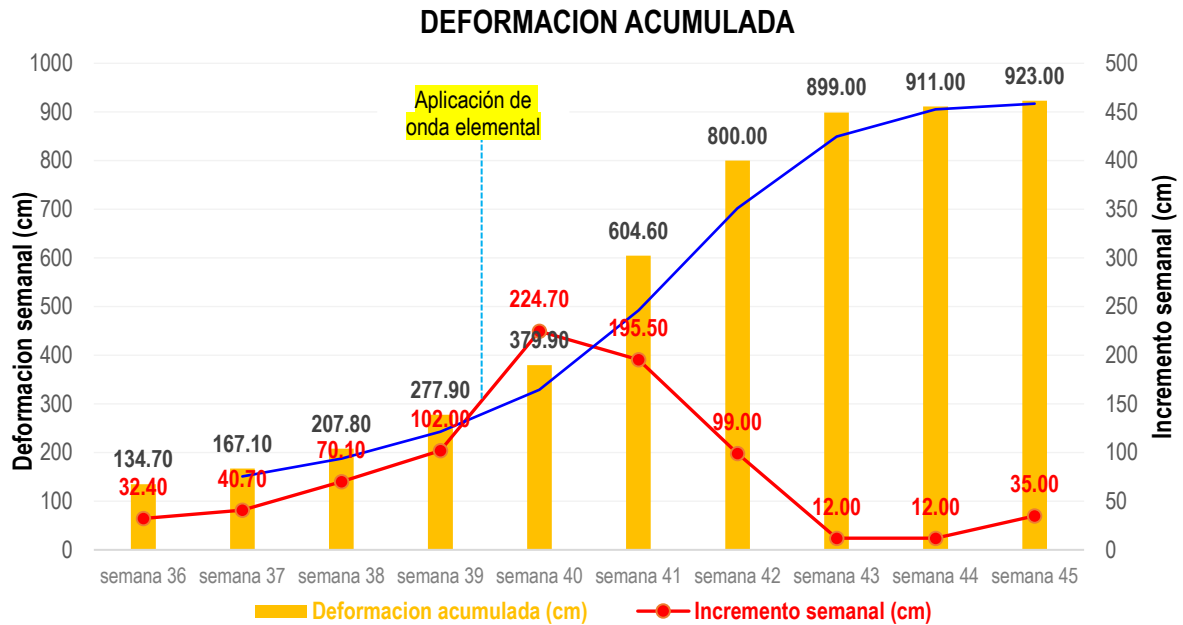
Figura 76. Conciliación geotécnica de taludes – Semana 45.



Nota: Geotecnia Mina.

En la figura N°76, se observa deformación a razón de 0.07 cm/h. Con una deformación acumulada de 923.00 cm desde 23-07-23 hasta 06-11-23.

Figura 77. Comportamiento de deformación entre la semana 36 hasta la semana 45.



Nota: Elaboración propia.

Entre las semanas N°39 y N°40, la deformación acumulada experimenta un incremento relevante de 224.7 cm. Con la implementación de los tiempos óptimos el incremento semanal se ha reducido progresivamente, logrado controlar el desplazamiento en la zona geotécnica 4.

Un inadecuado control de cargas explosivas y diseño de secuencia de salida no acorde al entorno, conlleva a padecer un acrecentamiento en la deformación.

Se detalla que en la semana 14 del año 2024 (27 semanas posteriores a la aplicación de ondas elementales), la pared norte del tajo sur sufre un deslizamiento provocando el cierre temporal de la vía de acarreo tajo sur, por causas ya preexistentes de deformación hasta la semana 40 de año 2023, siendo también el factor climatológico muy relevante (fuertes lluvias). Sin embargo, la aplicación del estudio permitió un minado hasta el banco 3510 en la zona geotecnia 4.

5. CONCLUSIONES

- Mediante el estudio de onda elemental, se ha alcanzado a reducir e incrementar los niveles de vibración y frecuencia respectivamente hacia la zona geotecnia 4 producidas por voladuras contiguas en los niveles 3720, 3705. Esto se ve reflejada en la disminución de desplazamiento por deformación semanal lanzado por el área de geotecnia, resultando beneficioso para el cuidado de taludes en la zona geotécnica 4.
- Se ha logrado determinar los tiempos adecuados de 25 ms con tiempo ente filas de 150 ms para formaciones de caliza (CZ), 31 ms con tiempo entre filas de 120 incrementable hasta 150 ms para formaciones de Hornfels Caliza, ambos con frecuencias deseables de 14 Hz.
- Se ha logrado controlar el incremento de deformación para las semanas 41, 42 y 43 con valores de 195.50, 99.0 y 12 cm respectivamente desde la implementación de tiempos adecuados con la propuesta de diseño fila a fila, acortar riesgos de activación y aparición de nuevas fallas inestabilidades en la zona geotecnia 4.
- Al iniciar la secuencia desde la primera Buffer esta genera un filtro de atenuación de las siguientes filas de producción, esto produce que el material tenga un desplazamiento hacia la pared, reduciendo la proyección en dirección a vías o plataformas aledañas. Este filtro producido es capaz de inducir fracturas en un plano para atenuar las vibraciones de la voladura principal lo cual depende mucho de la calidad de fracturas que se formen.
Así mismo, la predicción de vibración efectuada en la simulación del proyecto 1-08-3690-231, logra reducirse al emplear el doble filtro de control con la secuencia de detonación “fila a fila” y “taladro a taladro” tipo “v”. Combinar estas propuestas repercutirá favorablemente en la disminución de vibración por voladura en zonas sensibles.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar nuevas campañas de estudio de onda elemental cuando se ingresa a nuevos niveles de explotación en el Tajo con variación litológica.
- Realizar un monitoreo de vibraciones permanente en los puntos críticos alrededor del Tajo.
- Estandarizar la aplicación del diseño “Fila a Fila” en la secuencia de salida en voladuras de producción y de contorno.
- Desarrollar con la parte operativa campañas de concientización sobre el control de taco y consecuencias de la detonación de exceso de carga explosiva.
- Considerar la instalación de tubos de PVC en los taladros de Precorte para evitar el desprendimiento de roca y cause su derrumbe.
- Se debe considerar los planes de acción propuestos para los controles de deformación por voladura en las zonas geotécnicas dentro del tajo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Accinelli, J. G. (2019). *Criterios de optimización en voladuras orientado en la mitigación de impacto en taludes*. EXSA, Lima, Perú.
- Bernaola Alonso, J., Catilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). *Peforación y voladura de rocas en minería*. E.T.S De Ingeniero de Minas de Madrid, Madrid, España.
- Bobadilla Velásquez, Y. T. (2016). Modelamiento predictivo de vibraciones en campo lejano para el control de daño en chancadora primaria y poza en la Unidad Minera Lagunas Norte. *Tesis Pregrado*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Bravo Sánchez, I. L. (2018). Estudio de vibraciones inducidas por tronadura en Minera Spence. *Tesis de pregrado*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Castillo Torres, E. M. (2021). Análisis de onda elemental para el control de vibraciones en la pared este de la cantera en mina Toromocho. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- CINTEX. (2005). *Monitoreo de Vibraciones Generadas por Voladuras, Analisis y Modelamiento*. Centro de Innovacion Tecnologica de Explosivos de Enaex, Santiago.
- Contreras Perez, W. J. (2009). Selecccion del explosivo adecuado y carga maxima por retardo usando el monitoreo, modelamiento y analisis de vibraciones. *Tesis pregrado*. Universidad Nacional de Ingenieria, Lima, Peru.
- Cordova , D., & Laos, A. (1976). *Estudio de estabilidad de taludes en minas a cielo abierto*. INGEMMET, Lima, Perú.
- Devine, J. F., & Beck H, R. (1966). Effect of charge weight on vibration levels from quarry blasting. *Report investigations*. Bureau of mines, New York, EEUU.
- ENAEX. (2014). *Manual de Tronadura*. Gerencia Tecnica Enaex S.A, Santiago, Chile.
- EXSA . (2012). *Manual de practico de voladura*. Lima, Perú.
- FAMESA, E. (2019). *Manual de perforación y voladura*. Lima, Perú.
- Herrera Solis, H. (2013). Conociendo las vibraciones . *Capacitacion Compania Minera Volcan*. Blast Engineering, Lima, Perú.

- Konya, C. (1998). *Manual de Voladura* (6ta ed.). Madrid, España.
- Lopez Jimeno, C., Lopez Jimeno, E., Pernia Llera, J. M., & Ortiz Urbina, F. (1980). *Manual de perforacion y voladura de rocas*. Instituto geologico y minero de España, Madrid, España.
- Martinez Solano, J. D. (2019). Determinación y análisis de las vibraciones producidas por las voladuras realizadas en mina de extracción de oro ubicada en el municipio de Vuritica Antioquia. *Tesis de pregrado*. Universidad Pontificia Bolivariana - Seccional Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia.
- Mattmet Lizares, C. (2017). *Optimización de tiempo de retardo mediante estudios de onda elemental*. Minera Las Bambas, Challhuahuacho, Perú.
- Montes Parra, I. A. (2020). Análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el método de elementos finitos. *Tesis de pregrado*. Universidad de Concepción, Santiago, Chile.
- Orihuela Castillo, S. M. (2009). Diseño de un modelo predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura en una Mina modelo. *Tesis de pregrado*. Pontificia universidad católica del Perú, Lima, Perú.
- Pascual de Blas, J. (2000). Problematica de las vibraciones en las voladuras, medicion, control y regulacion legal. *Papper Academico*. Union Española de Explosivos, Madrid, España.
- Roberth Anyelo, J., & Soto Valdivia, J. (2011). Proteccion y estabilidad de taludes para evitar deslizamientos. *Tesis de pregrado*. Universidad Austral de Chile, Santiago, Chile.
- Sampaio Lopez, G., de Saouda Veras, E., & Gajardo Arraño, C. C. (2018). Modelo de onda elemental para la protección de cavidades naturales en operaciones mineras. "XIII Jornadas de Voladura ASIEX 2018". ASIEX, Carajas, Brazil.
- Sanchidrián Blanco, J., & Muniz Hevia, E. (2000). *Curso de Tecnologias de Explosivo*. Fundación Gomez Pardo, Madrid, España.
- Scherpenisse, C. R. (2009). "Fragmentación Sustentable" Aplicación de las Ingenierias Geotécnica y Voladura, Agregando Valor en el Negocio Minero. GeoBlast, Arequipa, Perú.

- Serafim , J. L., & Pereyra, J. P. (1983). *Considerations on the geomechanical classification of bieniwaki*. Proceedings of International Symposium on Engineering Geology and Underground Openings, Lisbon, Portugal.
- Soncco Marron , J. A. (2020). Conciliación geotécnica de taludes en sociedad minera Cerro Verde S A A. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Troncoso B, C. (2018). *Criterios de daño y evaluación de resultados en voladuras*. GEOBLAST, Lima, Perú.
- Turpo Phuño, J. I. (2010). Determinación de los parámetros geométricos del talud, para garantizar la estabilidad del Tajo superficial del área de explotación en la unidad minera "Moisés Randy". *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua, Perú.
- Valdivia Cuevas, A. L. (2017). *Diseño de modelo predictivo de vibraciones PPV en la voladura del Tajo Isabelita - Mina El Toro para evitar riesgos en la población cercana*. Universidad nacional de trujillo, Trujillo, Perú.
- Vasquez Sanchez, N. Y. (2013). Predicción de la ley de atenuación, frecuencia dominante y espectro de respuesta en vibraciones producidas por voladuras a cielo abierto. *Tesis de pregrado*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Madrid, España.





FT 051/01/01 R1
Mar. 2021

SISTEMA DE INICIACIÓN NO ELÉCTRICO



DESCRIPCIÓN

Brinel es una familia de detonadores con retardo, de iniciación no eléctrica, utilizados para la iniciación de cargas explosivas. Propician excelentes resultados gracias a la precisión de sus tiempos de retardo y su iniciación puntual, sea en minería a cielo abierto o subterránea, canteras o construcción civil.

Fabricado con el tubo ThermoTube, que tiene tecnología diferenciada que no utiliza explosivo. Diferente de los tubos convencionales, que emiten una onda de choque, con el ThermoTube, se emite una chispa fundida de alta temperatura.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Diámetro interno (mm)	1,25 - 1,50
Diámetro externo (mm)	2,96 - 3,24
Resistencia a la tracción (kgF)	40
Alargamiento (%)	128
Velocidad de propagación (m/s)	1.140 - 1.275
Resistencia al agua*	Resistente
Tipo de conector	J
Longitud** (m)	4,8 - 6 - 12 - 15 - 18 - 21 - 25 - 30
Temperatura de operación (°C)	-40 a +45

*Para aplicaciones en voladuras subacuáticas, consulte el área de Servicio al Cliente.
**Para otras longitudes, consulte el área de Servicio al Cliente.

TIEMPOS DE RETARDO

Tiempo (ms)	0	25	50	75	100	125	150
Número	0	1	2	3	4	5	6
Tiempo (ms)	175	200	225	250	275	300	350
Número	7	8	9	10	11	12	14
Tiempo (ms)	400	450	500	600	700	850	1.000
Número	16	18	20	24	28	34	40
Tiempo (ms)	1.250	1.500	1.750	2.000	2.500	3.000	3.500
Número	50	60	70	80	100	120	140
Tiempo (ms)	4.000	4.500	5.000	6.000	6.800	7.500	8.300
Número	160	180	200	240	272	300	332

INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

UN 0360
CONJUNTOS DE DETONADORES
NO ELÉCTRICOS
Clase de riesgo: 1.1B



UN 0361
CONJUNTOS DE DETONADORES
NO ELÉCTRICOS
Clase de riesgo: 1.4B***



***Bajo consulta.

APLICACIÓN Y RECOMENDACIÓN DE USO

- Minería a cielo abierto y subterránea, canteras, construcción civil y voladuras subacuáticas;
- Iniciación recomendada: Brinel Conexión / Britacord NP05 / Detonador nº8 / Brinel Iniciador.

EMBALAJE

Longitud (m)	4,8	6	12	15	18	21	25	30
Unidades por caja (piezas)	100	100	100	100	100	100	80	60
Dimensiones LxAxA (cm)	62 x 31 x 25		62 x 31 x 45					
Tipo	Caja de cartón							

ALMACENAMIENTO Y GARANTÍA

Conservado en su embalaje original y almacenado bajo las condiciones adecuadas el producto goza de una garantía de 36 meses a partir de la fecha de fabricación. Se debe cumplir con los requisitos legales vigentes.

FABRICACIÓN

- Cuatro Barras - PR, Brasil, Enaex Brasil.

¿Le gustaría contactar a nuestros expertos?

Dirección: Rod. Régis Bitencourt, km 1
Cuatro Barras/PR
Teléfono: 0800 701 0141
E-mail: contato.brasil@enaex.com
www.enaex.com

ADVERTENCIA

Enaex S.A. solo se hace responsable de la información que está expresamente indicada en este catálogo y no se responsabiliza por daños, pérdidas o cualquier contingencia derivada del uso de los productos, salvo las que fueran expresamente indicadas en la legislación local vigente. El uso de explosivos está regulado en cada país por leyes propias. Enaex S.A. se reserva el derecho de modificar sus productos, sin aviso previo.





Octubre 2021
Ficha Técnica v. 0921

**ANFOS PESADOS
VACIABLES Y BOMBEABLES**

DESCRIPCIÓN

Línea de Agentes de Voladura de alta energía en base a mezclas de Emulsión y Anfo. Son productos apropiados para voladuras de superficie, especialmente para utilizar en macizos rocosos de alta competencia, con flexibilidad de ser vaciados en perforaciones secas o con agua. Los productos se suministran a granel en camiones mezcladores – vaciadores tipo Auger y/o Quadra para producto bombeable

INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

Agente de Voladura Clase 1.
División 1.5 D
N° NU:0332
HDS-EMG-01

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS						
Vertex	920	930	940	945	950	970
Densidad (g/cc)	0,86 ± 5%	1,00 ± 5%	1,20 ± 5%	1,30 ± 5%	1,30 ± 5%	1,34 ± 5%
Velocidad de Detonación (m/s) (*)	3.695	4.080	4.003	3.665	3.621	3.449
Presión de detonación (Kbar)	29,35	42,00	49,00	43,00	43,00	40,00
Energía (KJ/Kg)	3.449	3.423	3.297	3.226	3.163	2.920
Energía Relativa al Anfo (**)						
RWS	0,95	0,92	0,89	0,88	0,87	0,82
RBS	1,06	1,3	1,60	1,69	1,71	1,74
Resistencia al agua	Nula	Nula	Nula	Nula	Media	Alta
Proporción Emulsión /Anfo	20/80	30/70	40/60	45/55	50/50	70/30
Diámetro mínimo (pulgadas)	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2
Iniciador mínimo recomendado	X-Booster 450	X-Booster 450	X-Booster 450	X-Booster 450	X-Booster 450	X-Booster 450

* La VoD depende del diámetro y calidad de perforación, combinada con la dureza y homogeneidad de la roca.

Nota : La información contenida corresponde a datos de laboratorio. Para fines de análisis y resultados en terreno, consultar con su representante de Enaex.

FABRICACIÓN

- In Situ

USOS

Producto diseñado para mejorar fragmentación, ampliar malla y ahorrar en perforación según se estime. Dada su innovadora formulación, no es necesario la incorporación de agentes sensibilizadores y energizadores para la mejora en las propiedades del producto. Con la condición anterior, tampoco es necesaria la incorporación de un camión fábrica y silos especiales para almacenamiento de materias primas.



**¿Quieres ponerte
en contacto con
nuestros expertos?**

Enaex S.A
Calle El Trovador 4253, Las Condes
Santiago.
Tel : (56-2) 28377600
Email : inf_avs@enaex.com
www.enaex.com

ADVERTENCIA

Enaex Servicios S.A. sólo se responsabilizará por lo expresamente indicado en este documento, y no será en ningún caso responsable por daños, pérdidas o cualquier contingencia derivada del uso de los productos, salvo aquellas expresamente indicadas por la legislación Chilena vigente. El uso de explosivos está regulado en cada país por leyes propias. Enaex Servicios S.A. se reserva el derecho de modificar sus productos, sin aviso previo.



◆ DaveyTronic® SP

◆ Davey Bickford



September 2021
Data Sheet V0921

SURFACE MINING
DIGITAL BLASTING SYSTEM / ELECTRONIC DETONATORS

PRODUCTIVITY

- The high accuracy and reliability of the DaveyTronic® SP detonator significantly improves blast performance:
 - Fragmentation and material uniformity
 - Muck pile control (excavation rate and dilution control)
 - Vibration control and repeatability
- The Synchronblast™ and Multiblast modes enables larger blasts to further reduce downtime through less blast windows. You can remotely control a network of several blast drivers located at different areas of the mine to fire several blasts simultaneously from a central location.
 - Synchronblast™: up to 4500 detonators for a single blast location
 - Multiblast: up to 5 different blast locations of 1500 detonators each

SAFETY

DaveyTronic® SP is designed for complete safety throughout the blasting procedure

- Safer at detonator level
 - Exclusive double capacitor: one for two-way communication with blasting equipment and one for firing
 - Exclusive Smartshunt, isolating the fusehead until the firing command is received
 - Excellent EMP/ESD protection
- Safer at system level
 - Continuous testing procedures up to the firing command
 - Electronic safety lock to authorize the firing procedure
 - Pre-blast equipment coupling ensures immunity to other RF devices



SECURITY

DaveyTronic® SP features a proprietary secure encoded communication protocol for both firing line control and wireless data transmission. The embedded RFID technology and the unique ID tracking number of each detonator complete the security features.

DESCRIPTION

The DaveyTronic® SP digital blasting system includes a set of three rugged types of units:

- 1 handheld remote blaster (DRB2), managing testing and firing procedure, communicating remotely with each detonator
- 2 programming units (PU), identifying and diagnostically testing each detonator on the bench and assigning the delay time
- 1 compact blast driver (DBD), wirelessly receiving the instructions from the remote blaster and providing energy to fire up to 1500 detonators per DBD

WARNING

Products described herein are potentially hazardous and must be used in accordance with applicable laws or regulatory provisions. Since Davey Bickford cannot anticipate all of the possible applications, and conditions under which this information and its products may be used, it is the responsibility of each user to review the information in the specific context of the intended application. Davey Bickford specifically disclaims all warranties, express or implied, including accuracy, non-infringement and implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose. Davey Bickford specifically disclaims, and will not be responsible for, any liability or damages resulting from the use or reliance of this information.

DaveyTronic® SP

DIGITAL BLASTING SYSTEM



- 1 - Remote Blaster (DRB2)
- 2 - Blast Driver (DBD)
- 3 - Programming Units (PU)
- 4 - RFID Tag
- 5 - Set of Antennas
- 6 - Waterproof Transport Case

OPERATIONAL CHARACTERISTICS

Detonators	Only to be used with DaveyTronic® SP Detonators
Monoblast Mode	Up to 1500 detonators
Multiblast Mode	Up to 8 DBD driven by one DRB2
Synchroblast Mode	Up to 4500 detonators in one blast
Programming	Maximum 6 PU can be associated to one DBD
Connection Modes	4 modes: One by One - Easy One by One - On Line - Easy On Line
Programming Modes	3 modes: Manual - Incremental - Automatic (blast plan on computer)
Connection of DBD to DRB2	Wired or Internal Radio Modem or External Modem*
Accessories / Wires	DaveyTronic® SP Blasting System shall only be used with authorized bus / harness / bell wire

*External modem compatibility must be checked with your Davey Bickford Technical Support

TECHNICAL CHARACTERISTICS

	Remote Blaster - DRB2	Blast Driver - DBD	Programming Unit - PU
Weight (kg / lbs)	1.8 / 4.0	1.9 / 4.2	1.2 / 2.7
Size (mm) (inches)	240 x 190 x 32 9.4" x 7.5" x 1.3"	185 x 185 x 55 7.3" x 7.3" x 2.2"	220 x 140 x 32 8.7" x 5.5" x 1.3"
Available Languages	English / French / Spanish / Portuguese**		
Event Recorders	Procedure history file, line data logger		/
Safety Key	Unique RFID security tag	/	/
Second Safety Firing Key	Optional	/	/
GNSS Positioning	Optional Module	/	/
Firmware Upgrade	Through USB com port		
Battery Type	Li-Ion Technology		
Battery Autonomy	4 hours - Battery level indicator	4 hours in stand-by + 1 hour in talk mode	8 hours - Battery level indicator
Charger	Input: 100-240V AC / 50-60 Hz, 2.0 A - Output: 10-12V DC - Rated current: 4 A max Charging time: 4 hours up to 4 equipment		
Ingress Protection Rating	IP 65	IP 67	IP 65
Display	5.7" backlit TFT Colour QVGA	4 LED status indicators	3.5" backlit FSTN B&W
Keyboard	14 backlit keys	/	18 backlit keys
Integrated Speaker	Vocal instructions / beeps	/	Beeps
Communication Ports	RS232 / RS485 - USB - RFID - Ethernet		USB - RFID - Ethernet
Device Capacity	1 500 detonators		1 000 detonators
Wireless Range	Up to 3000 meters, expandable with repeaters (optional DBD or other)		
Frequency	868 MHz or 923 MHz (except Europe) or 2.4 GHz		
Operating Temperature	Operating: -20°C to +50°C / -4°F to +122°F / Battery Charging: 0°C to +40°C / +32°F to +104°F		
Storage Temperature	-40°C to +70°C / -40°F to +158°F		
Waterproof Transport Cases	1 DRB2 + 1 DBD + 2 PU: Pelicase 1520 Orange - Cardboard box: 50 x 40 x 25 cm / 19.7" x 15.7" x 9.8" - 13 kg / 29 lbs 6 PU or 1 DRB2 + 3 DBD: Pelicase 1600 Orange - Cardboard box: 65 x 52 x 25 cm / 25.6" x 20.5" x 9.8" - 17 kg / 37 lbs		
Certificates	Complies with European Standards CEN TS/ 13763-26 & 27 Complies with South African Standards SANS 1717-1 and ARP 1717-1 CE Mark - Certificated FCC - IC Transport Classification UN 3481, C9, Gr2		

** PU also available in Russian / Finnish / Swedish / Turkish

WARNING

Products described herein are potentially hazardous and must be used in accordance with applicable laws or regulatory provisions. Since Davey Bickford cannot anticipate all of the possible applications, and conditions under which this information and its products may be used, it is the responsibility of each user to review the information in the specific context of the intended application. Davey Bickford specifically disclaims all warranties, express or implied, including accuracy, non-infringement and implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose. Davey Bickford specifically disclaims, and will not be responsible for, any liability or damages resulting from the use or reliance of this information.





