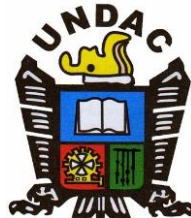


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas



T E S I S

**Implementación del Sistema Electrónico -DIGISHOT
para la Reducción de Vibraciones en Voladura –
Compañía Minera Atacocha**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero De Minas

Autor: Bach. Adú Walter MENDOZA HUARINGA

Asesor: Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA

Cerro De Pasco – Perú - 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas



T E S I S

**Implementación del Sistema Electrónico -DIGISHOT
para la Reducción de Vibraciones en Voladura –
Compañía Minera Atacocha**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

**Mg. Joel Enrique OSCUVILCA TAPIA
PRESIDENTE**

**Ing. Julio Cesar SANTIAGO RIVERA
MIEMBRO**

**Ing. Rosas FLORES MEJORADA
MIEMBRO**

DEDICATORIA:

- *A mi Sr. Jesús por darme la vida y llenar de mucha bendición mi hogar.*
- *A mis Padres por su incondicional apoyo y dedicación para mi formación como persona y profesional.*
- *A mi esposa e hijos por infinito amor, su paciencia y comprensión.*

RESUMEN

La presente tesis es un trabajo realizado para la implementación de un sistema electrónico para la reducción de vibraciones en las voladuras en el entendimiento de las constantes quejas de las poblaciones aledañas a las mineras con respecto a la destrucción o fisuramiento de sus viviendas debido al efecto de las vibraciones generadas por las voladuras.

El proyecto se empezará mediante el estudio del entorno rural de la unidad minera, así como Los resultados de los niveles de vibración deberían estar por debajo de los 5.25 mm/s y que la frecuencia de resonancia de estas viviendas es de 7 – 14 Hz en promedio, para evitar problemas con las poblaciones.

La velocidad de Onda P calculada de forma teórica y práctica (rango de 1700 m/s a 2100 m/s) nos muestra que la zona de La Quinua es una zona de roca entre suave a media y con gran número de fallas y fracturas que nos indica que la vibración se mitiga bastante por el paso por todos esos lados.

El trabajo de investigación analiza, evalúa y realiza en la implementación del sistema electrónico de voladura controlada en las operaciones mineras de voladura, en la cual se obtuvieron como resultado la reducción de vibraciones en las voladuras a utilizar en la Compañía Minera Atacocha S.A.A.

Para lo cual se ha planteado el cambio de tipo de voladura en la mina, llevando a cabo varias pruebas, participando en la perforación y carguío de los taladros en Tajos Bajo Losa, registrando parámetros técnicos de voladura, trazos de perforación y carguío de explosivos en los frentes de avance. En estas labores se monitorearon las vibraciones que producen las voladuras de las ondas longitudinales.

Para lo cual, se recomienda en forma especial que se continúe con esta implementación del Sistema Electrónico Digishot Plus, por los resultados obtenidos, sino también, hace posible enfrentar futuros problemas con las normas reguladoras de vibraciones, tanto con el daño en estructuras cercanas a dicho terreno o efectos negativos en las personas a sus alrededores.

Palabras claves: Niveles de Vibración; Daño de estructuras.

SUMMARY

This thesis is a work carried out for the implementation of an electronic System for the reduction of vibrations in the blasting in the understanding of the constant complaints of the neighboring populations to the mining Companies with respect to the destruction or cracking of their homes due to the effect of the vibrations generated by blasting.

The project will begin by studying the rural environment of the mining unit, as well as the results of vibration levels should be below 5.25 mm / s and that the resonance frequency of these houses is 7 - 14 Hz on average, to avoid problems with the populations.

The wave velocity P calculated theoretically and practically (range from 1700 m / s to 2100 m / s) shows us that the area of the Quinoa is a zone of rock between soft to medium and with a large number of faults and fractures that it indicates that the vibration is mitigated enough by the passage by all those sides.

The research work analyzes, evaluates and performs in the implementation of the electronic controlled blasting system in blast mining operations, which resulted in the reduction of vibrations in the blasting to be used in the

Mining Company Atacocha S.A.A.

For which the change of type of blasting in the mine has been raised, carrying out several tests, participating in the drilling and loading of the drills

in slab under slab recording technical parameters of blasting, drilling traces and loading of explosives in the fronts of advance. In these tasks the

vibrations produced by the blasting of the longitudinal waves were monitored.

For which, it is recommended in a special way to continue with this implementation of the Digishot Plus Electronic System, due to the results obtained, but also, it makes possible to face future problems with the regulatory norms of vibrations, both with the damage in structures close to said ground or negative effects on people to their surroundings.

Keywords: Vibration levels; Damage to structures.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1. Determinación del Problema.....	16
1.2. Formulación del Problema.....	18
1.2.1. Problema General.	18
1.2.2. Problemas Específicos.	18
1.3. Objetivos:	19
1.3.1. Objetivos Generales.	19
1.3.2. Objetivos Específicos.	19
1.4. Justificación del Problema.	19
1.5. Importancia y Alcances de la Investigación.	20
1.6. Limitaciones.	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes.	22
2.2. Bases Teórico – Científicos.	24
2.2.1. La Compañía Minera Atacocha.	24

2.2.2. Ubicación y Accebilidad.	27
2.2.3. Geografía.	29
2.2.4. Características Geomecánicas de la Veta Atacocha.	31
2.2.5. Modelo Geológico.	31
2.2.6. Modelo Geotécnico de un Macizo Rocosos.	53
2.2.7. Explosivos.	55
2.2.8. Voladuras Controladas.	55
2.2.9. Vibraciones.	73
2.2.10. Sistema Digishot Plus.	116
2.2.11. Actividades Realizadas.	122
2.3. Definición de Términos.	122
2.4. Hipótesis: Genéricos y Específicos.	127
2.4.1. Hipótesis General.	127
2.4.2. Hipótesis Específicas.	127
2.5. Identificación de las Variables.	127
2.5.1. Variables Independientes.	127
2.5.2. Variables Dependientes.	128
2.5.3. Variables Intervinientes.	128
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	129
3.1. Tipo de Investigación.	129
3.2. Diseño de la Investigación.	130
3.3. Población Muestra.	130
3.3.1. Población.	130
3.3.2. Muestra.	131
3.4. Métodos de la Investigación.	131

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.	131
3.5.1. Primera Etapa	131
3.5.2. Segunda Etapa.....	131
3.5.3. Tercera Etapa.....	132
3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.	132
3.6.1. Asignación y Ubicación de Detonadores.	132
3.6.2. Conexión de Detonadores.	134
3.6.3. Relación entre las Características de Conexión y Tiempo.....	137
CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DEL USO DEL DIGISHOP- PLUS	137
4.1. Propuesta de Implementación para el control de vibración en voladura.	139
4.1.1, Componentes DigiShot Plus.	140
4.1.2. El Rol de los Detonadores Eléctricos en la Industria de Fragmentación de Roca.	150
4.2. Presentación de Resultados.	151
4.2.1. Seguridad.	151
4.2.2. Resumen de Beneficios.....	153
4.2.3. Tamaño de Voladura y Limites de Equipo de Control.....	156
4.3. Prueba de Hipótesis.....	162
4.3.1. Alteración hidrometal y Procesos Metasomáticos	163
4.3.2. Tipos de Alteración Hidrometal y su Relación de Emplazamiento.....	164
4.3.3. Reducción de Niveles de Vibración del terreno de Voladuras.....	165
4.3.4. Análisis de Daños Originados por la Voladura de Rocas.....	167

CONCLUSIONES	170
RECOMENDACIONES	171
BIBLIOGRAFÍA	172
ANEXOS	174

PRESENTACIÓN

En cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de Minas la Universidad Nacional “Daniel Alcides Carrión”, pongo a vuestra consideración la Tesis titulada: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRONICO – DIGISHOT PLUS PARA LA REDUCCIÓN DE VIBRACIONES EN VOLADURA – COMPAÑÍA MINERA ATACOCHA S.A.A., con la finalidad de optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.

El desarrollo del presente trabajo, representa los conocimientos adquiridos en las aulas universitarias, por lo que su aplicación en la práctica y en el mismo lugar de los hechos, nos permitirá obtener resultados del modelamiento y monitoreo de las vibraciones inducidas por la voladura, se usaran para compararlos con los diferentes criterios de daño postulados a la fecha, y de esta manera estar en condiciones de minimizar, mitigar y/o evitar los daños producidos por las vibraciones inducidos por la voladura de rocas.

Por esta razón se decidió realizar el presente trabajo de investigación en donde se monitorea las vibraciones inducidas por la voladura de rocas en una operación minera superficial, proporcionando la teoría básica y práctica, así como procedimientos para el registro y análisis de los datos de vibraciones obtenidos de las voladuras. El monitoreo de vibraciones debe ser registrado partiendo del propósito para el uso de los datos, y los factores que deben ser controlados para asegurar la confiabilidad de los datos.

Adú Walter MENDOZA HUARING

INTRODUCCIÓN

Actualmente las Empresas Mineras en el Perú y el mundo poseen en gran parte sus operaciones en las cercanías a las ciudades o poblados, gran parte de las empresas mineras posee en sus perímetros algún poblado una casa. En nuestro país, gran parte de la minería superficial tiene que afrontar debido a esta situación, demandas y protestas de los comuneros y dueños de estas casas por daños tanto materiales como de salud (Auditiva, respiratorias) debido a la actividad minera colindante.

Últimamente estas demandas han causado una mala imagen a la minería, una imagen que se intenta cambiar durante mucho tiempo pero que debido a estos problemas en muchos lugares sigue siendo considerada como depredadora y dañina para sus vecinos.

Se percibe también en este problema la falta de información por parte de las mineras establecidas en estas zonas para poder verificar que efectivamente sus operaciones no causan daño a su entorno rural, esto es al tener que guiarse de normativas desarrolladas por diferentes países que no cuentan con el tipo de vivienda que se tiene en estas zonas, por lo que sus normativas son de difícil aplicación en esta parte del continente.

Como principio fundamental, ante estos problemas, los mineros debemos entender que el proceso de voladura se basa en la liberación de la energía del explosivo, causando la fragmentación de la roca circundante, pero también esta liberación de energía genera una serie de ondas de esfuerzo que se desplazan por la corteza terrestre y una onda de choque generada en el aire. Las ondas internas que viajan por el suelo van

acompañadas de ondas superficiales que parten del mismo punto de la perturbación y que se van diferenciando en la medida que los frentes de onda se van alejando de la fuente, debido principalmente a las diferentes velocidades de propagación y los diferentes periodos de vibración.

Durante su viaje las ondas mueven las partículas del medio que recorren produciendo sobre estas velocidades, desplazamientos y aceleraciones que se pueden registrar en los aparatos destinados para este fin. Los registros de desplazamiento, velocidad y aceleración de partículas generados por las voladuras tienen tres características primordiales: la amplitud, el contenido de frecuencia y la duración. La amplitud depende de la cantidad de material detonado y de la distancia al punto de registro, el contenido de frecuencia depende de la fuente de perturbación y del camino recorrido y por último, la duración depende de la cantidad de material detonado y de la distancia entre la detonación y el punto de registro.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Determinación del Problema.

La Compañía Minera Atacocha, es una mina polimetálica que cuenta con el evento geológico mineralizante se pone en manifiesto por la formación de skarn de granates en el sector de Santa Bárbara con mineralización de Zinc, Plomo, Plata y Bismuto, mientras que entre San Gerardo y Falla 1 y en profundidad se formaron cuerpos mineralizados de reemplazamientos (orebodies), vetas, brechas heterolíticas con mineral de Ag, Pb y Zn, asociados a alteraciones de skarn magnesianos y eventos hidrotermales de mediana-baja temperatura en forma adyacente o asociado a sistemas silíceos caracterizados por ensambles de sílice-sericita-halloysita.

Las características geológicas descritas e indicadas en mapas geológicos interpretativos permiten caracterizar del punto de vista

metalogenético las áreas a ser exploradas y pronosticar el potencial o guiar hacia las nuevas áreas de exploración en relación a los tipos de mineralización en el yacimiento.

El uso de técnicas de voladura para la obtención de excavaciones bien definidas, con el propósito de obtener materia prima, lo que hace necesario el uso de explosivos para el proceso de voladura, el mismo que está basado en la liberación de la energía del explosivo, esta liberación de energía genera una serie de ondas de esfuerzo que se desplazan por la corteza terrestre y una onda de choque generada en el aire. Las ondas internas que viajan por el suelo van acompañadas de ondas superficiales que parten del mismo punto de la perturbación y que se van diferenciando en la medida que los frentes de onda se van alejando de la fuente, debido principalmente a las diferentes velocidades de propagación y los diferentes periodos de vibración.

Nuestra habilidad para controlar de daño que ocasiona estas vibraciones recae en mantener los niveles de vibración a un nivel que consideremos que produce daño, ya sea generando nuevas fracturas, dilatando las fracturas ya existentes, o induciendo movimientos de bloques tales como las cuñas a lo largo de los planos de fallas existentes.

La presente tesis explora el proceso de monitoreo de vibraciones y daño, considerando los modelos que ayudan a entender y controlar el nivel de vibraciones. Debiendo de tener en consideración que la vibración es sólo uno de los mecanismos que producen daño en la

estructura de la roca, siendo otro mecanismo importante la acción de los gases generados por la detonación del explosivo que penetran en las grietas pudiendo producir grandes movimientos de bloques.

1.2. Formulación del Problema.

1.2.1. Problema General:

¿Cómo Influirá el uso del sistema eléctrico DigiShot™ Plus™ en la optimización tecnológica para el sistema de disparos, en operaciones de voladura en Compañía Minera Atacocha S.A.A?

1.2.2. Problemas Específicos:

1.2.2.1. ¿En qué medida, la utilización del sistema eléctrico DigiShot™ Plus ayudará a minimizar el control del impacto ambiental de tronaduras (vibraciones), apilado de material, carguío y rendimiento del chancador, estabilidad talud, y otros beneficios operacionales en Compañía Minera Atacocha S.A.A?

1.2.2.2. ¿Cuál será el comportamiento de la vibración en el macizo rocoso al utilizar el sistema eléctrico DigiShot™ Plus en los tajeos de la mina de la Compañía Minera Atacocha S.A.A.?

1.2.2.3. ¿Se podrá tener una mejora continua en los ratios de voladura (KPI) de la Compañía Minera Atacocha S.A., con el uso del Sistema eléctrico DigiShot™ Plus™?

1.3. **Objetivos:**

1.3.1. **Objetivos Generales.**

Usar el sistema eléctrico DigiShot™ Plus para reducir costos y seguridad en el sistema de voladuras en la Compañía Minera Atacocha S.A.?

1.3.2. **Objetivos Específicos.**

1.3.2.1. Minimizar el daño al macizo rocoso al realizar voladuras controladas utilizando el sistema eléctrico DigiShot™ Plus.

1.3.2.2. Caracterizar comportamiento del macizo rocoso desde un punto de vista geotécnico para controlar el factor de seguridad, y obtener los parámetros.

1.3.2.3. Mejorar los ratios de voladura (KPI) de Compañía Minera Atacocha S.A.A. con el uso del sistema eléctrico DigiShot™ Plus.

1.4. **Justificación del Problema.**

La realización de la presente investigación se justifica debido a que permitirá contribuir al desarrollo de los conocimientos actuales sobre agentes de voladuras de rocas y sus aplicaciones a las operaciones mineras subterráneas y superficiales, específicamente en la reducción de costos en el proceso de voladura.

Contando con la caracterización geotécnica, tendremos datos precisos para efectuar un control del macizo rocoso, que permitirá mejorar el factor de seguridad y realizar el plan de minado, en todas las labores de desarrollo y producción de la COMPAÑÍA MINERA ATACOCHA S.A.A.

1.5. Importancia y Alcances de la Investigación.

En la actualidad en la que la minería viene atravesando la baja de los precios de los metales y por otro lado los problemas constantes con la sociedad por los efectos causados por las vibraciones causadas por la voladura, por lo que la tesis consiste en implementar el uso del sistema eléctrico DigiShot™ Plus, su aplicación en la práctica y en el mismo lugar de los hechos, nos permitirá obtener resultados del modelamiento y monitoreo de las vibraciones inducidas por la voladura, se usaran para compararlos con los diferentes criterios de daño postulados a la fecha, y de esta manera estar en condiciones de minimizar, mitigar y/o evitar los daños producidos por las vibraciones inducidos por la voladura de rocas.

El buen uso de las técnicas de la voladura controlada obtiene excavaciones bien definidas, buena fragmentación y sobre roturas mínimas, lo que permite excavaciones más estables y dinamizar, el ciclo del frente. Esto se refleja en la reducción de costos relacionados a sostenimiento, explosivos, tareas, seguridad y utilización de equipos.

Debido a ello, la implementación del sistema eléctrico DigiShot™ Plus en la Compañía Minera Atacocha S.A., entre otras actividades, pretende demostrar la viabilidad del uso de este nuevo producto, como alternativa que nos ofrece beneficios económicos y técnicos; así lograr una operación rentable, segura y sostenible a largo plazo. El logro de este propósito debe significar un aporte a la tecnología nacional susceptible de ser replicada en similares operaciones y yacimientos de minerales.

1.6. Limitaciones.

En el desarrollo del presente estudio prácticamente no hubo limitaciones en cuanto se refiere a la obtención de datos, debido a las facilidades otorgada por el área de voladura de la empresa EXSA.

Es de mencionar que las únicas limitaciones fueron los referidos al financiamiento para la elaboración, como también a la falta de apoyo del personal capacitado y la información de la data actual en cuanto a la operatividad de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.

Desde hace 15 años la industria minera ha decidido, ahora más que nunca utilizar los avances tecnológicos en las actividades de los procesos mineros y en las de sus proveedores. La meta ha sido crear una mejora en la productividad, y en la eficiencia de sus funciones y procesamientos.

Respecto a la tecnología de los explosivos, estos han permanecido relativamente sin cambios durante este último período, siendo la receta estándar para la minería de superficie, por ejemplo,

los tubos de choque (no eléctricos) cómo sistema de iniciación, y el granel cómo explosivo.

La introducción de los detonadores electrónicos a la minería y la capacidad de precisión de disparo que estos poseen, han proporcionado a la industria minera una herramienta de optimización para las voladuras, que antes no estaba disponible con los sistemas pirotécnicos. Esto, ha proporcionado a los usuarios por primera vez, refinar los resultados de las voladuras para satisfacer las necesidades operacionales específicas o para superar restricciones en sus procesos. El resultado ha tenido significantes beneficios financieros y un mayor control sobre las principales funciones primarias /secundarias de la fragmentación de rocas. Este control ha optimizado la productividad y la eficiencia de los procesos mineros tales como carguío, transporte, molienda y procesamiento. Además del beneficio económico, la electrónica ha traído un mayor nivel de confianza a la voladura, posibilitando a los usuarios revisar la funcionalidad del sistema completo antes de disparar, ayudando de este modo la prevención de errores en la voladura y las consecuencias a partir de ahí.

EXSA S.A. es una empresa de capitales peruanos, sus actividades se concentran en la fabricación y comercialización de explosivos industriales así mismo presta servicios asociados a las operaciones de voladura en las distintas unidades mineras a nivel nacional, operando tanto en minería subterránea como superficial.

DetNet es una empresa de origen sudafricano, la cual se origina como un Joint Venture entre DynoNobel y African Explosives. Su actividad principal es la fabricación y comercialización de sistemas de iniciación electrónica. Actualmente ofrece al mercado mundial cuatro Sistemas para las diferentes necesidades de los clientes, estos son: Smart Shot; Digishot; HotShot +; Quickshot.

En el año 2008 EXSA S.A. decide comercializar los detonadores electrónicos HotShot, ingresando inicialmente a Volcan y Antamina, así mismo se han realizado pruebas en Toquepala, Lagunas Norte y Yanacocha, demostrándose la seguridad y versatilidad del Sistema Smartshot.

2.2. Bases Teórico – Científicos.

Para conocer el entorno espacial de nuestro trabajo, se ha estimado conveniente tomar las siguientes referencias:

2.2.1. La Compañía Minera Atacocha S.A.A.

La Compañía Minera Atacocha S.A.A., se constituye el 08 de febrero de 1936 con el fin de desarrollar actividades de exploración y extracción de yacimientos mineros de su propiedad o arrendados para producir concentrados de plomo, zinc y cobre., y así optimizar la utilización de las instalaciones productivas y el uso de los recursos geológicos.

En el primer año de operaciones, las actividades se concentraron en la nivelación y ensanche del socavón San Ramón en el Nivel 4000 con el fin de prepararlo para ser utilizado como nivel de extracción de la mina. Los trabajos de explotación desarrollados en vetas a partir del Nivel 4000 permitieron comprobar que estas vetas representaban los límites de un cuerpo mineralizado único.

En los dos años siguientes de operación (1938), se terminaron de construir la Central Hidroeléctrica de Marcopampa (la segunda turbina recién fue instalada en 1943) y la Planta Concentradora N°1 en Chicrín.

Fue en 1952, que se terminó la construcción del Nivel 3600 con una longitud de 2700 m, el mismo que al concluirse permitió tener un nuevo nivel principal de acceso y transporte a las labores subterráneas, y a su vez facilitó la extracción y transporte del mineral a la nueva Planta Concentradora N° 2 ubicada también en Chicrín. Ya por el año 1953 entró en funcionamiento la Central Hidroeléctrica de Chaprín.

A partir del desarrollo de los trabajos de exploración y explotación, además de las labores emprendidas a partir del pique 533 que unía los niveles 3600 con el 3900 se descubrió otro importante cuerpo mineralizado por debajo, comprobándose

que se trataba de la mineralización más extensa descubierta en Atacocha.

En sus inicios, los trabajos de explotación se hacían por el método de Squart Set, pero en la actualidad es íntegramente por Corte y Relleno Ascendente Mecanizado con perforación horizontal en breasting y en la zona alta desde el año 2014 se viene ejecutando la explotación del tajo abierto San Gerardo

El 29 de octubre del año 2008, Votorantim Andina Perú S.A.C., empresa subsidiaria del Grupo Votorantim Metais, llegó a un acuerdo de compra con accionistas de la compañía para la adquisición de acciones de la clase A que representan el 91,00% de esta clase de acciones de la compañía. El precio acordado fue de 0,5126 dólares por acción.

El 10 de noviembre del año 2008, La Compañía Minera Milpo S.A.A. se convirtió en titular indirecto de 233 788,781 acciones que representan el 69,75% de las acciones Clase A del capital social de la Compañía, al haber asumido la condición de titular del 100% de las acciones de Votorantim Andina Perú S.A.C. Es así que desde esa fecha, Atacocha forma parte del Grupo Milpo.

La Compañía tiene una participación mayor del 25% en Atagold S.A., Corporación Minera San Manuel S.A., Minera Sinaycocha S.A.C., Calcios del Pacífico Sur S.A., Empresa

Energética de Chaprín S.A., Corporación Peruana Cocachacra S.A.C., Finaminer S.A. y El Quinual S.A.

Es así que desde noviembre del 2008 forma parte del Grupo Milpo, como subsidiaria de Compañía Minera Milpo S.A.A. ("Milpo"), que posee 91.00% de las acciones representativas con derecho a voto (a través de Milpo Andina Perú S.A.C.), la cual, a su vez, forma parte del importante grupo empresarial brasileño Votorantim.

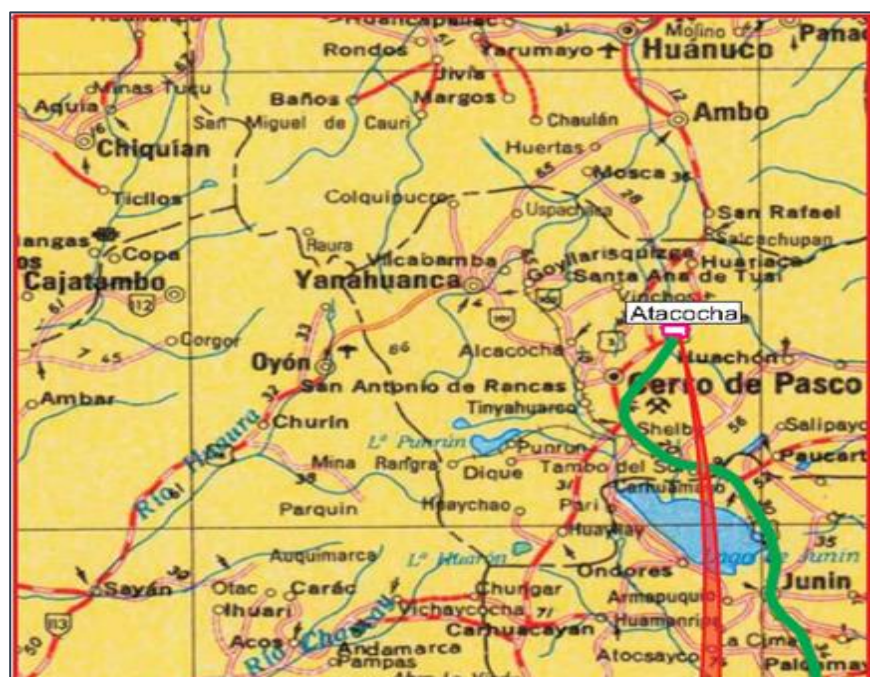
2.2.2. Ubicación y Accebilidad

- a) **Ubicación.-** La Compañía Minera Atacocha se encuentra ubicada en la sierra central del Perú, específicamente en la Cordillera Occidental, muy cerca del nudo de Pasco, políticamente pertenece a los distritos de San Francisco de Yarusyacán y Yanacancha, provincia y departamento de la región Pasco respectivamente. Atacocha es un yacimiento, el cual está ubicado a unos 15 km al noreste de la ciudad de Cerro de Pasco, a una altitud media de 4050 msnm, su situación precisa es la intersección de las coordenadas UTM: N: 883100 y E: 3675002.

Los asientos mineros y la planta concentradora están ubicados en el distrito de Yanacancha; en Chicrín a una altitud de 3600 m.s.n.m, los depósitos de relaves de

Malauchaca I y Malauchaca II (Canchas de Ticlacayán) se ubican en el distrito de Ticlacayán y la Central Hidroeléctrica Chaprín en el distrito de Huariaca. El depósito de relaves Vaso Cajamarquilla se encuentra ubicado en los terrenos de la comunidad de Cajamarquilla y el depósito de relaves Vaso Campamento en terrenos de Atacocha.

- b) **Accebilidad.-** La principal vía de acceso al yacimiento desde la ciudad de Lima se realiza mediante la carretera central, siguiendo la ruta: La Oroya, Carhuamayo, Colquijirca; zona denominada “El Cruce” (entre Cerro de Pasco y Huánuco) hasta llegar a Chicrín (lugar donde están situadas las oficinas administrativas de Compañía Minera Atacocha); haciendo así 331 km de recorrido desde la ciudad capital; empleando un tiempo aproximado de 8 horas, el acceso a la mina Atacocha y al tajo “San Gerardo” desde Chicrín, es mediante una trocha carrozable a 7 km de longitud que cubre un desnivel de 450 m.



2.2.3. GEOGRAFÍA:

La Compañía Minera Atacocha se encuentra en la sierra central del Perú, en la cordillera Occidental, muy cerca al Nudo de Pasco. Dentro del área de influencia del emplazamiento minero existen hasta tres zonas morfológicas muy distintas entre sí, la superficie puna, la zona cordillerana y la zona de valles periglaciales. La topografía se caracteriza por relieves fuertemente ascendentes, que llegan hasta los 4500 m.s.n.m de altitud.

El área presenta una morfología con relieves suaves y fuertes pendientes. Las cotas varían entre 4000 y 4500 m.s.n.m. correspondiendo a las zonas más elevadas los cerros Santa Bárbara, y el cerro Cherchere, mientras las zonas más bajas corresponden a la quebrada de La Lagia y la quebrada Chicrín; esta última corresponde al rasgo morfológico erosivo principal que disecta de Este a Oeste a las altiplanicies del sector Atacocha, ésta a su vez conforma parte de la red hidrográfica de los ríos Tingo hacia el Oeste y por el Huallaga hacia el Este, el pico más alto de la zona es el Pumaratanga, que tiene una elevación de 4,560 msnm. A lo largo del cañón del río Huallaga, sus flancos presentan taludes de hasta 60° y 70°.

a) CLIMA:

El clima de Atacocha es típico de la sierra del Perú, es decir, un clima de puna que se caracteriza por ser frío y seco durante todo el año, con precipitaciones que ocurren principalmente durante cuatro a cinco meses del año en forma de lluvias, granizo o nevadas, y se acentúa entre febrero y marzo. En el periodo de junio a agosto generalmente ocurren precipitaciones mínimas, la precipitación promedio local es de 956.6 mm por año.

Las temperaturas tienen pequeñas variaciones de estación en estación, con pronunciados cambios durante el día y la noche, ya que varían entre 5 y 25 °C, mientras que la temperatura promedio anual es aproximadamente de 11,5 °C. La humedad es relativamente baja y, por tanto, el ambiente es mayormente seco.

Los vientos tienen una velocidad promedio de 2.2 km por hora y una dirección predominante NNO, siendo más intensos entre los meses de junio a septiembre. La evaporación promedio anual de la región es del orden de 1,556 mm.

b) VEGETACIÓN:

Por estar ubicado este lugar por sobre los 4000 m.s.n.m. y por las inclemencias de clima, la vegetación que se desarrolla en abundancia es el ichu, los mismos que alcanzan hasta un metro de altura.

2.2.4. CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DE LA VETA ATACOCHA:

El sector de Andaychagua está ubicado en el flanco Este del anticlinal de Chumpe, estructuralmente es el resultado de fuerzas compresivas y de intrusiones así como la formación de fallas en cizalla (rumbo NW- SE) y fracturamientos tensionales (rumbo NE-SW y NW-SE).

La veta Andaychagua es una falla mineralizada dextral con rumbo N 30° E y buzamiento 72°- 90° NW a veces SE, esta veta en el sector de explotación está emplazada en su mayoría en roca volcánica, extendiéndose hasta la zona de filitas.

2.2.5. MODELO GEOLÓGICO:

a) Geología Estructural

Las zonas de operación mineras actuales de Atacocha, secciones Atacocha, San Gerardo y Santa Bárbara están ubicadas al Norte-Noroeste y Noreste respectivamente de la intersección de las fallas principales Atacocha, Falla 1 y Falla 13.

Se observan dos zonas estructurales separadas por la falla Atacocha, la primera es la sección Santa Bárbara que se encuentra al Este de la Falla Atacocha en el homoclinal con estratos de dirección Norte-Sur buzando 80° al Este atravesado por el intrusivo Santa Bárbara que en realidad es un sistema de diques con dirección general Norte-Sur, siendo la parte Sur de rumbo Norte-Noroeste, la parte central es Norte-Sur y la parte norte con dirección Noreste que implica fuerte control estructural. La sección Atacocha está al Oeste de la falla Atacocha y se ubica en profundidad y a lo largo del eje del sinclinal fallado y volcado, con dirección casi Norte-Sur, lo cual indica fuerte compresión hacia el Este. En esta sección a medida que se profundiza hacia el Sur se caracterizan mayores ocurrencias de cuerpos intrusivos que en realidad constituyen diques con dirección Norte-Sur.

Se han determinado tres sistemas o cuerpos intrusivos, el primero son los intrusivos que son de dos direcciones principales uno NS (Santa Bárbara) y el otro NW (San Gerardo), el segundo es el sistema silíceo de dirección Norte-Sur y el tercero es el conjunto de Brechas Heterolíticas de dirección principal Norte-Sur, con fuerte control estructural relacionado a las fallas Atacocha, 1 y 13. Un segundo control de emplazamiento de intrusivos corresponde a las direcciones Norte-Sur y buzamientos subverticales de secuencias de

estratificación que se muestran claramente debajo de los niveles 3600 en la sección 3 y 3900 en la sección 2-4.

b) Geología Regional

El yacimiento Atacocha se ubica en los Andes Centrales del Perú en un contexto geológico regional constituido por rocas metamórficas, sedimentarias e intrusivas del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico, respectivamente separadas por discordancias de erosión.

Las secuencias estratigráficas que se definen a escala regional corresponden al Grupo Mitu, Grupo Pucará, Formación Goyllarisquizga y la Formación Pocobamba. Estas unidades estratigráficas han sido instruidas en varias localidades por sistemas de intrusiones en dos generaciones de edad (11-15 Ma y 25-30 Ma). Estos sistemas de intrusiones se definen en dos corredores estructurales definidos. El corredor estructural al Oeste (Cerro de Pasco – Colquijirca) en la meseta de Junín y el corredor estructural Este (Milpo-Atacocha) ubicado en la faja subandina hacia la naciente de los valles amazónicos.

Los principales contextos estructurales de la región se caracterizan por los sistemas de fallas NS y NW-SE, donde se emplazan los distritos mineros de Cerro de Pasco -

Colquijirca y sistema estructural Norte-Sur (primario) y Este-Oeste (secundario) de Milpo-Atacocha-Machcan hacia la base de las secuencias del Pucará (Jurásico inferior).

En la región de Cerro de Pasco han sido reconocidos tres cinturones magmáticos de distinta edad relacionados a yacimientos hidrotermales de la familia de los pórfidos de cobre. Un cinturón antiguo (38 a 35 Ma) ha desarrollado sistemas hidrotermales epitermales de metales preciosos del tipo “Alta Sulfuración” en Quicay y Pacoyán. Un segundo belt más joven (29-26 Ma) comprende intrusivos generalmente dacíticos que han generado skarns asociados a mineralización de Zn-Pb-Ag-Cu en Milpo, Atacocha, Machcan y Vinchos. Un cinturón más joven y prolífico es aquel desarrollado entre 15 y 10 Ma y que comprende los históricos distritos mineros de Cerro de Pasco y Colquijirca. Se trata de centros volcánicos de tipo domo-diatrema generalmente dacíticos relacionados a depósitos polimetálicos sin relación a skarn (cordilleranos) y pequeñas manifestaciones epitermales de metales preciosos del tipo “Alta Sulfuración”.

- **Contexto Geológico Estructural**

El basamento rocoso está constituido por rocas metamórficas del Silúrico Devónico constituido por filitas

y cuarcitas ubicadas al Oeste de Cerro de Pasco, controlada por una falla longitudinal (Jenks, 1951). Al Este de Tíclacayán aflora esquistos y meta sedimentos del Paleozoico inferior al Precambriano limitadas por la falla Ulcumayo (Cobbing et al 1996) que en cierta forma son casi paralelas al sistema N-S y a la vez son fallas de basamento que han encontrado la sedimentación. Entre ambas fallas están emplazadas las fallas Atacocha (Johnson 1952), y Longreras que son del sistema longitudinal. El otro sistema de fallas corresponde a sistemas transversales de dirección NW, siendo la falla Carmen Chico la mejor desarrollada.

En discordancia sobre el basamento paleozoico se acumularon sedimentos clásticos rojizos en ambiente continental, constituyendo el Grupo Mitu de amplitud regional. Cubriendo en discordancia erosional regional a paso gradual local se inicia la sedimentación marina carbonatada en plataforma somera del Grupo Pucara que constituye la principal secuencia estratigráfica de la mina Atacocha, la cual se detallará en los siguientes párrafos. El Grupo Pucará se deposita controlado por las estructuras longitudinales evidenciadas en Cerro de Pasco por el grosor, así como las facies someras de borde de cuenca evidenciadas en Ulcumayo, las cuales

concuerdan con las isòpacas regionales del Grupo Pucará, al terminar la sedimentación carbonatada del Grupo Pucará en la zona de la mina Atacocha, específicamente al Oeste de la falla Atacocha, se depositó en forma para concordante una secuencia denominada brecha Chert por Johnson (1952-1955), el techo aflorante de la citada brecha está cortada por la Falla 1 poniendo en contacto fallado la brecha contra el Grupo Goyllarisquizga.

Siguiendo la secuencia se observa las areniscas cuarzosas de la formación Goyllarisquizga dentro de la cual se emplazaron basaltos, los cuales están concordantes pero en algunos lugares cortan las areniscas y a los carbonatos tanto del Grupo Pucará como del Cretáceo. Termina el Cretáceo con las calizas Chicrin que constan de calizas y margas beige claras. Culminando la secuencia sedimentaria, aflora la Formación Pocobamba del Terciario que consta de brechas con fragmentos subangulosos a subredondeados de calizas del Grupo Pucará, los eventos geológicos principales terminan con la intrusión de stocks y diques denominados Santa Bárbara, San Gerardo y Atacocha. Según composición química, estos intrusivos son félsicos y de acuerdo a la clasificación

realizadas por K. A. Gunnesch et (1984), se adoptó la denominación de cuarzodioríticos, con hornblenda o biotita.

- **Implicancias Metalogenéticas**

Según las condiciones geológicas regionales que presentan eventos de intrusiones cuarzodioríticas en un contexto de rocas calcáreas del Grupo Pucará y detríticas del Grupo Goyllarisquizga y sistemas de fallas activas durante los eventos de mineralización y pre-condicionando a estos, se describen los sistemas estructurales-geológicos que condicionan la ocurrencia de mineralización.

La intersección de estructuras tipo fallas y/o paleo-fallas activas durante la sedimentación son evidenciadas en el distrito Atacocha-Milpo por la acumulación de unidades litológicas locales, así como la complejidad o desarmonía estructural en relación al contexto estructural de la zona. Por otro lado, la presencia de intrusivos alterados y las evidencias de actividad hidrotermal pre-mineralizantes relaciones tipo skarn cálcicos o magnesianos, brechas síliceas, silicificación, sericitización, cloritización, propilitización, etc. y principalmente las evidencias de mineralización de

sulfuros económicos acompañados de metales como Ag, Pb, Cu, y Au, caracterizan esta región metalogénica y han sido acumulados de manera preferente en trampas litológicas, estructurales, químicas o combinadas.

En Atacocha, el evento geológico mineralizante se pone en manifiesto por la formación de skarn de granates en el sector de Santa Bárbara con mineralización de Zinc, Plomo, Plata y Bismuto, mientras que entre San Gerardo y Falla 1 y en profundidad se formaron cuerpos mineralizados de reemplazamientos (orebodies), vetas, brechas heterolíticas con mineral de Ag, Pb y Zn, asociados a alteraciones de skarn magnesianos y eventos hidrotermales de mediana-baja temperatura en forma adyacente o asociado a sistemas silíceos caracterizados por ensambles de sílice-sericita-halloysita.

Las características geológicas descritas e indicadas en mapas geológicos interpretativos permiten caracterizar del punto de vista metalogénico las áreas a ser exploradas y pronosticar el potencial o guiar hacia las nuevas áreas de exploración en relación a los tipos de mineralización en el yacimiento. (Ver Fig. 2)

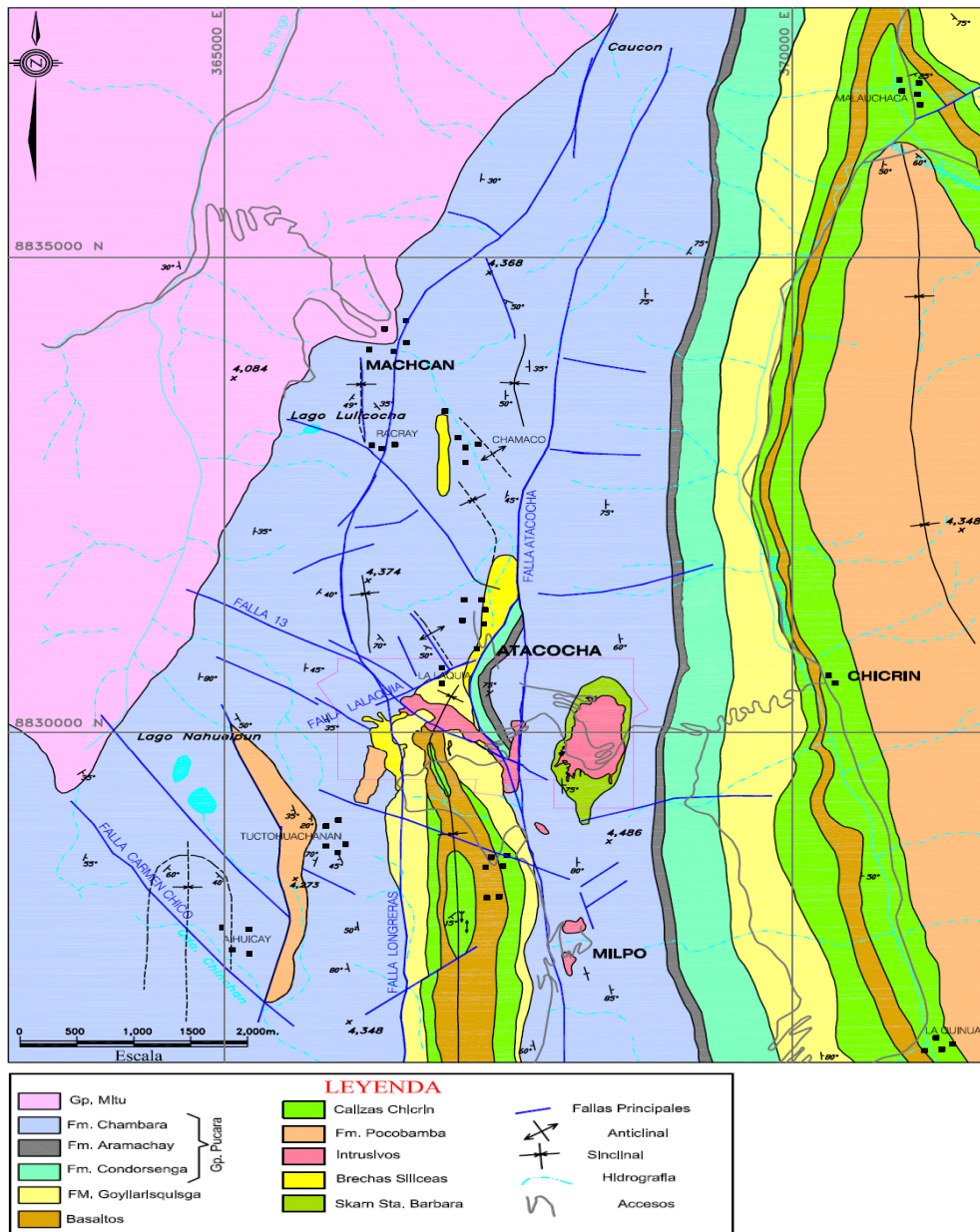


Figura 2: Plano geológico regional

Fuente: Departamento de Geología – Compañía Minera Atacocha

c) Geología Local

En el distrito de Atacocha predominan afloramientos de rocas clásticas y sedimentarias del mesozoico, que se han depositado en la gran cuenca Pucará, igualmente son predominantes los afloramientos de rocas subvolcánicas de edad terciaria definidos en pequeños stocks (menores de 1 km²).

- **Litología y Estratigrafía**

En el área de operaciones mineras del yacimiento de Atacocha, se han diferenciado las siguientes unidades litológicas:

- a) **Grupo Pucará:** Unidades, (A, B, C, D) Formación Chambará, (E) Formación Aramachay, (F) formación Condorsinga y dolomías.
- b) **Brecha Chértica**
- c) **Formación Goyllarisquizga:** Areniscas cuarzosas.
- d) **Basaltos**
- e) **Intrusivos:** dacita, pórfido dacítico, cuarzo diorita con hornblenda o biotita.
- f) **Skarn:** mármol, sílice wollastonita, skarn de granates, sílice skarn, piritas-arcillas-skarn.

g) Brecha Silícea: Sílice masiva, brecha silíceo, sílice-skarn-clorita, sílice terrosa.

h) Brecha Hidrotermal: brechas calcáreas, brechas heterolíticas, brechas monolíticas, brechas cársticas.

Las rocas carbonatadas del Grupo Pucará constituyen las principales unidades estratigráficas que han sido diferenciados en 6 unidades litológicas. Estas son:

- **Unidad A:** Se encuentra al Este de la Falla Atacocha. Consta de calizas grises a gris oscuras, micritas a esparíticas con niveles de dolomías finas, calcarenitas y volcánicos finos verdosos, también se observa limolitas a dolomicritas compactas de tonalidad gris amarillenta, esta unidad es la base de la Formación Chambará.

- **Unidad B:** Se ubica al este de la unidad anterior definida por posición estratigráfica suprayacente. La principal característica es su color gris oscuro a negro. En litología se caracteriza por la presencia de calizas micritas y dolomicritas gris oscuras a negras en estratos delgados a tabulares con niveles lenticulares bituminosos. Se caracteriza en muchos lugares de la mina por la obliteración de marmolización, silicificación, en sus niveles más competentes, estas rocas corresponden a la parte intermedia de la Formación Chambará.

- **Unidad C:** En esta unidad estratigráfica se observa en el lado Este de la zona de trabajo. que consta de calizas chérticas monótonas grises micríticas a esparíticas en estratos métricos, también se ha delimitado niveles dolomíticos. Se caracteriza por la dureza de las secuencias litológicas que las representa, esta unidad corresponde a la parte intermedia de la Formación Chambará.
- **Unidad D:** Esta unidad litológica tiene amplia distribución y ha sido identificada en la sección Atacocha y en la sección Santa Bárbara. Consta de calizas beige claras variando de mudstone a grainstone intercalado con niveles dolomíticos de tonalidad beige clara, también se observan horizontes chérticos y bituminosos, esta unidad es la parte superior de la Formación Chambará.
- **Unidad E:** Es la unidad litológica guía del yacimiento de Atacocha por sus características litológicas que consta de calizas negras micríticas, margas a lutitas negras, en muchos lugares la característica de este conjunto rocoso es obliterada por la marmolización, silicificación, sílice-sericita-arcillas, etc. En muchos lugares de la mina, la roca se encuentra alterada conformando calizas recristalizadas con decoloración teniendo tonalidades claras sin llegar a

mármol (decalcificación). Estas rocas corresponden a la Formación Aramachay del Grupo Pucará.

- **Unidad F:** Se le ha observado en la sección Atacocha y corresponde a los niveles superiores del Grupo Pucara denominado como la Formación Condorsinga. Consta de calizas grises a grises claras mudstone a packstone con horizontes fosilíferos y niveles dolomíticos.

- **Columnas Geológicas Local**

La columna geológica local está conformada de la siguiente manera:

- **Dolomías:** Se le observa en diversa posición estratigráfica dentro del Grupo Pucará. Se caracteriza por su tonalidad gris clara variando de dolomicrita a doloesparita con estratificación definida y compacta. Por la alteración ha perdido la estratificación que caracteriza a todo el Grupo Pucará en el yacimiento de Atacocha.
- **Brecha Chértica:** Esta unidad litológica se observa en la sección de Atacocha, está ubicada según su posición estratigráfica entre el Grupo Pucara y el Grupo Goyllarisquizga. Según características en litología, consta de brechas chérticas rojizas con fragmentos de chert, calizas de tamaño seriado anguloso a

subanguloso, la matriz es calcárea a silíceas, habiéndose observado dos litologías una donde predomina los fragmentos y matriz calcárea y la otra con fragmentos y matriz silícea, en algunas muestras se observa tanto en la matriz como en los fragmentos silíceos elementos fosilíferos lo que indica su asociación marina, por áreas la coloración es blanquecina a grisácea producto de la alteración sílice-sericita-halloysita o serpentina-jasperoides respectivamente.

- **Areniscas Cuarzosas:** Esta unidad litológica corresponde a parte del Grupo Goyllarisquizga que se caracteriza por la predominancia de areniscas con abundantes granos de cuarzo del tamaño de arena. Algunos niveles tienen abundantes granos de feldespatos o elementos arcillosos adquiriendo la denominación de arcosas. La matriz es arcillosa a silícea, en los niveles sobre el 4000, las características litológicas y de estratificación están definidas y fáciles de reconocer aunque existen áreas con fuerte alteración hidrotermal formando brechas hidrotermales con matriz de sílice-sericita-arcillas (halloysita, montmorillonita, kaolinita), debajo del Nivel 4000, la alteración ha obliterado con fuerte intensidad la roca original formando brechas silíceas, sílice masiva en la que aún es factible

reconocer la presencia de granos de cuarzo y en escasos lugares la estratificación.

- **Basaltos:** esta unidad subvolcánica a volcánica se observa en sondajes al suroeste de la mina debajo de las zonas de Cherchere y San Gerardo. Está constituida por basaltos grises a verdosos en masa fundamental constituida por vacuolas verdosas de zeolitas con indicios de flujos que engloba fenocristales de olivino, ilmenita, magnetita.

El conjunto de rocas intrusivas tiene forma de diques subparalelos de dirección principal Norte-Sur lo que evidencia un control estructural de los diques. Se observa en tres lugares una en la parte central de Santa Bárbara, la segunda en la parte sur y a lo largo de la falla Atacocha y la tercera al sur de la sección 3. Según características litológicas se presentan similares habiendo sido observadas dos unidades litológicas principales definidas por la presencia de cuarzo en forma de fenocristales que son dacita y pórfido dacita.

- **Dacita:** Se caracteriza por fenocristales de feldespatos y muy escaso cuarzo en masa fundamental microlítica. Se tienen dos variedades: una con predominio de biotita y la otra con mayor porcentaje de hornblenda.

- **Pórfido Dacítico:** Se caracteriza por la abundancia de fenocristales de cuarzo y se observan las dos variedades (biotita u hornblenda) citadas anteriormente.
- **Cuarzo Diorita:** Está constituida por cristales alargados de feldespatos de tamaño hasta 6 milímetros de eje mayor, con algunos ojos de cuarzo y agregados de cristales bien formados de biotitas negruscas alterándose a colores verduscos y blanquecinos transparentes o cristales puntuales de hornblendas, en una matriz microcristalina de color grisáceo, compuesta de plagioclasas y cuarzo fino, acompañan disseminaciones de pirita. También se puede distinguir las dos variedades citadas anteriormente: biotita u hornblenda.

El siguiente grupo litológico está asociado a la alteración metasomática de contacto con la definición de rocas del sistema skarn. Las principales son las siguientes:

- **Mármol:** La roca es de coloración blanquecina de textura cristalizada- esparítica, fuerte reacción al ácido clorhídrico (HCl) y se ha observado dos tipos principales mármol calcáreo y mármol dolomítico. Se observan relictos de textura de caliza fosilífera (bivalvos) y nódulos

irregulares de sílice gris (chert) bordeados de wollastonita blanquecina y calcita.

- **Sílice-Wollastonita:** Esta asociación mineralógica forma parte del sistema de skarn cálcico y es de color gris claro a blanco lechoso con textura brechoide de agregados masivos y ocasionalmente de textura fibrosa radial de wollastonita, ocasionalmente quedan relictos de mármol blanquecino con bordes silíceos, además agregados de sílice gris en forma de nódulos irregulares las que presentan un zoneamiento de sílice gris a los bordes pasando a sílice masiva gris brechada.
- **Skarn de granates:** Se ha adoptado la denominación de skarn cuando el porcentaje de granates es mayor de 50%, lo que ha permitido diferenciar varias unidades que están relacionadas a la mineralización. El skarn cálcico se caracteriza por la presencia de granates marrones y verdes que se caracterizan por su grado de cristalización media a fina, de coloración marrón claro con tonalidades amarillentos (andradita) de aspecto sacaroideo, también se presentan de color verde claro (grosularia) de cristalización fina. El skarn de piroxenos es escaso en el yacimiento está asociada a granates verdes afaníticos de una tonalidad clara y con muy poca presencia de sulfuros. El Skarn de magnetita se

caracteriza por la magnetita se presenta en tramos de granates verdes y están asociados a la pirita y menos frecuente a la pirrotita.

- **Sílice-skarn:** Esta asociación mineralógica esta constituida por sílice fina masiva con skarn en porcentaje menor de 30%, siendo la sílice mayor de 50%, ocasionalmente está asociada a wollastonita, arcillas, el skarn está en venillas, en ojos o diseminada ocupando la segunda etapa de cristalización.
- **Pirita-arcillas-skarn:** la siguiente asociación mineralógica esta constituida por pirita fina masiva (Py I) variando entre 80 y 30 %, arcillas blanquecinas que van del 10 a 30 % y skarn verde de grano medio a fino que va de 0 a 20 %. En algunas zonas la pirita está reemplazando o adquiriendo la forma pseudomórfica de macrogranates.

La siguiente litología es del sistema silíceo y está relacionada a la alteración sílice-sericita-halloysita observada principalmente al oeste de la falla Atacocha, habiéndose diferenciado las siguientes litologías:

- **Sílice Masiva:** Es la litología principal de este tipo de roca y está constituida por sílice masiva fina blanquecina

la cual ha reemplazado en forma total al protolito que principalmente fue caliza. Cuando el protolito corresponde a arenisca o brecha chértica, los granos o fragmentos de sílice son factible de reconocer, el color de la roca es blanco y de alta dureza, masivo compacto, habiendo perdido los signos de sedimentación original.

- **Brecha Silíceea:** Se caracteriza por su color blanquecino de textura brechada, constituidas de fragmentos subredondeados a subangulares de tamaños variables desde milímetros hasta centímetros, de sílice opalina gris, sílice opalina blanco lechoso y sílice granular, englobadas en una matriz de sílice granular blanquecina, con venillas delgadas de sílice blanca, ocasionalmente se observan desarrollos de pequeñas cavidades con inter-crecimientos de cristales de cuarzo. También engloba fragmentos de areniscas, así como de calizas del Grupo Pucará dependiendo del protolito brechado.
- **Sílice-skarn-clorita:** Esta asociación litológica consta principalmente por sílice gris a blanquecina masiva en una primera etapa seguida por venas a vetillas de skarn verde acompañada de venillas de clorita y en algunas zonas con hematita. Esta asociación mineralógica está

alineada y relacionada a un fuerte fracturamiento que está acompañada por mineralización económica.

- **Sílice Terrosa:** Esta litología consta de sílice gris blanquecina suelta constituida por elementos de sílice los cuales han sido pobremente cementados por arcillas en escasa proporción. En algunos lugares tiene la apariencia de fuerte fracturamiento.

Las rocas del sistema de brechas hidrotermales y relacionadas al último evento de alteración-mineralización han sido diferenciadas según las siguientes unidades litológicas:

- **Brechas Calcáreas:** Esta unidad consta de fragmentos subangulosos a subredondeados de calizas, mármol, etc. En algunas zonas los fragmentos son monolíticos y en otros sectores son heterolíticos, de tamaños variados, la matriz es calcárea y de coloración gris y en algunas zonas gris oscura algo bituminosa con muy escasa pirita.
- **Brechas Heterolíticas:** Se ha denominado así a las unidades de roca de color gris clara plomiza, de textura brechada, constituida por fragmentos y matriz. Los fragmentos tienen formas subangulosas, de calizas

negras mudstone, sílice-blanquecinos, sílice con venillas de sílice-pirita, mármol con sílice-wollastonita y calcita. ¿Los tamaños de los fragmentos varían en tamaño y están englobadas en una matriz color negro bituminoso? de raya suave y sedoso, acompañada de pirita diseminada. La mineralización está emplazada en la matriz en forma de venillas, diseminada, ojos o formas subredondeadas que son crecimiento o reemplazamiento de mena.

- **Brechas Monolíticas:** Esta unidad litológica es muy similar a la brecha heterolítica y la única diferencia radica en que los fragmentos solo son de una litología bien sea caliza o intrusivo predominando este último.
- **Brechas Kársticas:** Este conjunto de unidades litológicas está constituido por fragmentos de calizas, mármol, sílice, skarnoides, intrusivos. Los fragmentos de brechas son subangulosos a subredondeados y se diferencian de otras brechas por la presencia en la matriz de sedimentos subhorizontales de material carbonatado con fragmentos de mineral. En algunos casos, el material está constituido por sedimentos laminares de sílice-sericita arcillas lo que implica la mezcla de dos procesos kársticos calcáreos y kársticos hidrotermales. (Ver Fig. 3)

ERA	SISTEMA	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	COLUMNA	LITOLOGIA	ALTERACION Y MINERALIZACION	
MESOZOICO	CRETACEO	Basaltos		Basaltos con textura vesicular (zeolitas)	Ag - Pb - Au en vetas	
		Fm. Goyllarisquiza		Areniscas cuarzosas, ortocuarcitas con estratificación cruzada.		
	JURASICO	Brecha chertica		Brecha chertica con matriz detrítico calcáreo rojizo, con clastos de chert y calizas.	Ag - Pb - Zn en vetas	
		Fm. Condorsinga		Calizas micriticas grises claras con cherts y abundantes pseudomorfos, fosiles.		
		Fm. Aramachay		Margas y calizas negras, fosilíferas (bt)		
	TRIASICO	Gpo. Pucará	D		Dolomias y calizas gris	Ag - Pb - Zn en Brechas Hidrotermales Brechas Kerstites (Bk) Brechas Monoclicas (Bmc) Brechas Heteroclicas (Bht) Brechas Calcáreas (Bcc) Brecha Silíceas Silice Terrosa (ST) Silice-Sham-Clorita (Si-Sk-Cl) Brechas Silíceas (Bst) Silice Masiva (SM) Zn - Pb - Ag - Bi, Skarn Prita-Arcillas-Skarn (Py-ar-sk) Silice-Skarn (Si-sk) Skarn de Granates (sgv) Silice-Wollastonita (Si-Wo) Marmol (mm) Intrusivos, Dacita, Pórf. Dac., Czo. Dib.
			C		Calizas y dolomias cherticas gris oscuras	
			B		Dolomias y calizas negras micriticas en estratos delgados (bt)	
			A		Nivel fosilifero	
					Calizas y dolomias micriticas	
		Ex. sinsedimentaria				

Figura 3: Columna geológica local de la Mina Atacocha
Fuente: D. Dávila (Dic – 2005)

2.2.6. MODELO GEOTÉCNICO DE UN MACIZO ROCOSO:

2.2.6. Concepto de Minería:

La minería es la obtención selectiva de minerales y otros materiales (salvo materiales orgánicos de formación reciente) a partir de la corteza terrestre.

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad. Casi desde el principio de la edad de piedra, hace 2,5 millones de años o más, ha venido siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas. Se puede decir que la minería surgió cuando los predecesores de los seres humanos empezaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas.

Todos los materiales empleados por la sociedad moderna han obtenidos mediante minería, o necesitan productos mineros para su fabricación. Puede decirse que, si un material no procede de una planta, entonces es que se obtiene de la tierra. Incluso las otras actividades del sector primario, agricultura, pesca y silvicultura, no podrían llevarse a cabo sin herramientas y máquinas fabricadas con los productos de las minas. Cabe argumentar por ello que la minería es la industria más elemental de la civilización humana.

A) MINERÍA

La perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores.

Se basa en los principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en el área equivalente al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia de perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo.

La perforación se efectúa por los siguientes medios:

- **Percusión:** Con efecto de golpe y corte como el de un cincel y martillo. Ej.: el proporcionado por los martillos neumáticos pequeños y rompe pavimentos.
- **Percusión - rotación:** Con efecto de golpe. Corte y giro, como el producido por las perforadoras comunes.
- **Rotación:** Con efecto de corte por fricción y presión (full down). Sin golpe, como el producido por las perforadoras rotatorias para open pit.
- **Abrasión:** Con efecto de corte por fricción y rayado con material muy duro (desgaste de la roca, sin golpe), como

el producido por las perforadoras diamantinas para exploración.

En voladora se aprovecha la disponibilidad instantánea de alta energía de los explosivos como una herramienta para producir la rotura de rocas en forma eficaz y económica.

Esta operación comprende a dos efectos fundamentales la fragmentación y el desplazamiento. El primero se refiere al tamaño promedio de los fragmentos obtenidos, su distribución y porcentaje por tamaños, mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de la roca triturada.

Una buena fragmentación es importante para facilitar la remoción y transporte del material

Por movimiento puede dificultar este trabajo como en el caso de los disparos "plantados", mientras que por otro lado, un desplazamiento excesivo hacia delante producirá dispersión y mezcla de materiales, (dilución de leyes si se trata de minerales).

2.2.7. EXPLOSIVOS:

Los materiales explosivos son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, que por medio de reacciones químicas de óxido — reducción, son capaces de transformarse en un tiempo muy breve, del orden de una fracción de microsegundo, en productos gaseosos y condensados. Cuyo volumen inicial se convierte en una masa gaseosa que llega a alcanzar altas temperaturas y en consecuencia muy altas presiones.

Estos fenómenos son aprovechados para realizar trabajos mecánicos aplicados en el rompimiento de materiales pétreos lo que constituye la técnica de voladura de rocas”.

➤ **Características prácticas de los Explosivos**

Son las propiedades físicas que identifican a cada explosivo y que se emplean para seleccionar el más adecuado para una voladura determinada, entre ellas mencionamos a las siguientes:

- **Potencia relativa:** Es la mediada del “contenido de energía” del explosivo y del trabajo que puede efectuar. Se mide con la prueba de trauzl.
- **Brlsance o poder rompodor:** Es el efecto “demoledor o triturador “que aplica el explosivo sobre la roca para iniciar

su rompimiento. Se determina mediante la prueba de guess.

- **Densidad:** la densidad de la mayoría de los explosivos varían entre 0.8 a 1.6 en relación con la unidad (agua a 4 °C y 1 atm), y al igual que con la velocidad cuanto más denso se proporcionara mayor efecto de brisance
- **Velocidad de detonación:** es la medida de la velocidad con la que viaja la onda de detonación a lo largo de la masa o columna de explosivos, sea al aire libre o dentro de un taladro.
- **Aptitud a la transmisión o simpatía:** Al ser detonado un cartucho este puede inducir la detonación de otro vecino por "simpatía".
- **Sensitividad:** A nivel internacional son diferentes interpretaciones sobre sensibilidad y sensibilidad, aquí les presentamos como se emplea usualmente en nuestro país. Los explosivos deben ser suficientemente sensitivos para ser detonados por un iniciador adecuado.
- **Estabilidad:** Los explosivos deben ser estables y no descomponerse en condiciones ambientales normales.
- **Sensibilidad:** existen dos clases:
 - a) **Sensibilidad al calor.** Los explosivos al ser calentados

gradualmente llegan a una temperatura en que se descomponen repentinamente con desprendimiento de llamas y sonido que se denomina “punto e ignición “.

b) Sensibilidad al golpe. Muchos explosivos pueden detonar fácilmente por efecto de golpe, impacto fricción, por seguridad es importante conocer su grado de sensibilidad a estos estímulos, especialmente durante su transporte y manipuleo.

- **Categoría de humos:** La detonación de todo explosivo comercial produce vapor de agua, nitrógeno, bioxido de carbono y. eventualmente sólidos y líquidos.
- **Resistencia al agua:** Es la habilidad para resistir una prolongada exposición al agua sin perder sus características

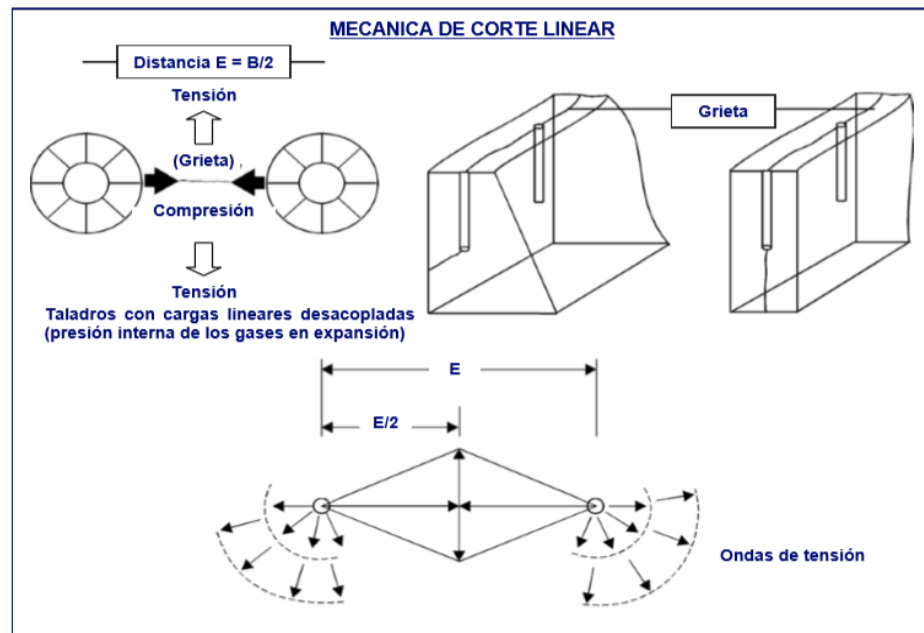
2.2.8. VOLADURAS CONTROLADAS:

El objetivo de la voladura controlada es evitar el rompimiento de la roca fuera de límites previamente establecidos, es decir evitar la sobrerotura (overbreak). Es un método especial que permite obtener superficies de corte lisas y bien definidas, al mismo tiempo que evita el agrietamiento excesivo de la roca remanente, con lo que contribuye a mejorar

su estabilidad, aspecto muy importante en trabajos subterráneos de orden permanente, para prevención de desplome de techos y otros riesgos, y en superficie para la estabilidad de taludes en cortes de laderas.

Consiste en el empleo de cargas explosivas lineales de baja energía colocadas en taladros muy cercanos entre sí, que se disparan en forma simultánea para crear y controlar la formación de una grieta o plano de rotura continuo, que limite la superficie final de un corte o excavación. En términos generales, si el disparo para este corte es anterior a la voladura principal, se le denomina “precorte o presplitting”, y si es posterior se le conoce como Recorte, voladura de contorno o voladura suave (Smooth blasting); en el caso de túneles también suele denominarse voladura periférica. Se emplea a menudo para el acabado superficial de túneles de obras hidráulicas o viales, para reducir el consumo de concreto cuando éstos tienen que ser cementados, y en cámaras subterráneas para mejorar el autosostenimiento de techos y paredes.

También se aplica para excavaciones precisas para cimentación de maquinaria, para piques y chimeneas, para límite final de bancos en minería a tajo abierto y para extraer grandes y bien formados bloques de piedra ornamental en canteras de mármol, caliza marmórea y granito, entre otros.

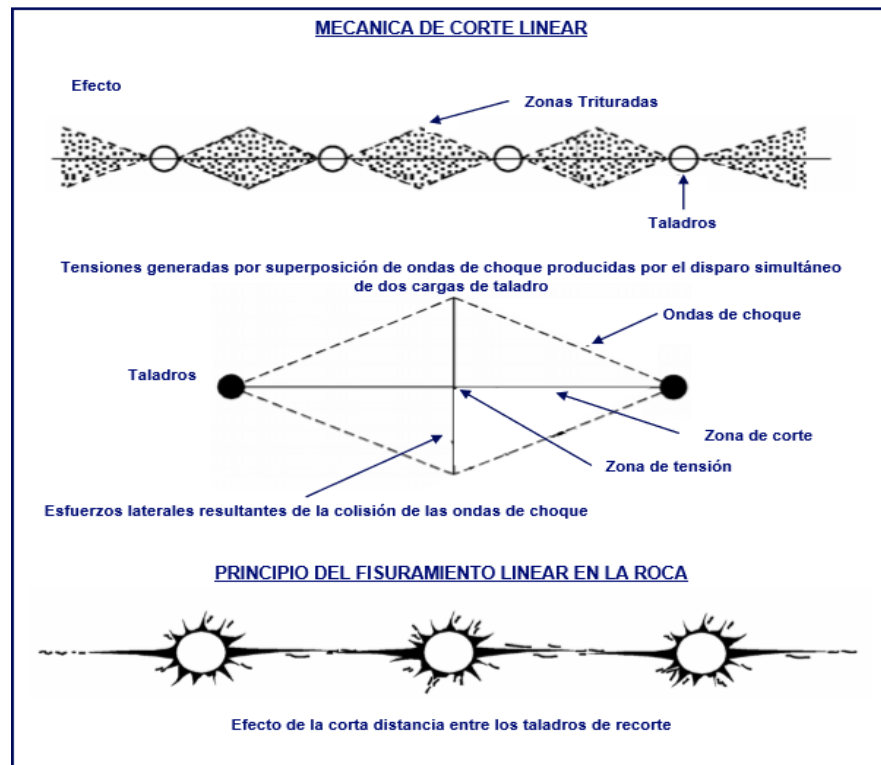


2.2.8.1. Teoría del Método

Una carga explosiva convencional acoplada, que llena completamente un taladro, al detonar crea una zona adyacente en la que la resistencia dinámica a compresión de la roca es ampliamente superada, triturándola y pulverizándola. Fuera de esa zona de transición, los esfuerzos de tracción asociados a la onda de compresión generan grietas radiales alrededor de todo el taladro, lo que se denomina fisuramiento radial. Cuando son dos las cargas que se disparan simultáneamente, esas grietas radiales tienden a propagarse por igual en todas direcciones, hasta que por colisión de las dos ondas de choque en el punto medio entre taladros, se producen esfuerzos de tracción complementarios perpendiculares al plano axial.

Las tracciones generadas en ese plano superan la resistencia dinámica a tracción de la roca, creando un nuevo agrietamiento y favoreciendo la propagación de las grietas radiales en la dirección de corte proyectado, lográndose esto en especial cuando dos taladros son cercanos. Posteriormente estas grietas se amplían y extienden bajo la acción de cuña de los gases de explosión que se infiltran en ellas. La propagación preferencial en el plano axial junto con el efecto de apertura por la presión de gases permite obtener un plano de fractura definido. Según esto, el mecanismo de trabajo de una voladura de contorno comprende a dos efectos diferentes: uno derivado de la acción de la onda de choque y otro derivado de la acción de los gases en expansión.

La presión de gases es clave en la voladura controlada, por lo que se debe tratar de mantenerla hasta que complete la unión de las grietas que parten de los taladros adyacentes. Esto se conseguirá adecuando la longitud de retacado para evitar el escape prematuro de los gases a la atmósfera.



2.2.8.2. Diferencia entre la Voladura Convencional y Voladura Controlada

En la práctica el método de voladura controlada requiere de ciertas condiciones que la diferencian del método convencional, como se muestra a continuación:

- **Voladura Convencional**

Los taladros de voladura normal destroran la roca por interacción entre sí, con predominio de fracturamiento radial; para lograr este efecto es necesario mantener ciertas condiciones, como:

1. Relación de espaciamento a burden:

$$E = (1,3 \text{ a } 1,5) \times B$$

2. Relación de acoplamiento (diámetro de taladro a diámetro de cartucho): máxima de 1,2 a 1, buscando un adecuado confinamiento y atacado del explosivo.
3. Distribución de la carga explosiva, ocupando en promedio los 2/3 de la longitud del taladro (66%) procurando la mayor concentración de carga al fondo del mismo.
4. Uso de taco inerte para retener la explosión en el taladro el mayor tiempo posible, y para mejorar el grado de confinamiento.
5. Empleo de explosivo con el mayor brisance y empuje dentro de la relación energía/costo, para las características de la roca.
6. Disparo de todos los taladros de la voladura siguiendo un orden de salida, espaciados en tiempo de acuerdo a un esquema de secuencias (arranques, ayudas, cuadradores, alzas, etc.).

- **Voladura Controlada**

A diferencia de los taladros de voladura normal, los de voladura controlada deben espaciarse de tal modo, que las fracturas creadas se dirijan a los puntos de

menor resistencia, es decir de taladro a taladro, alineándose para formar un plano de corte, con lo que se disminuye o elimina la formación de fracturas radiales.

Entre sus condiciones fundamentales tenemos:

1. Relación de espaciamiento a burden inversa a la normal; es decir menor espaciamiento que burden, usualmente:

$$E = 0,5 \text{ a } 0,8 B.$$

2. Explosivo de mucho menor diámetro que el del taladro para que la relación de desacoplamiento sea mayor que la convencional de 2,1 a 1.
3. Carga explosiva linear distribuida a todo lo largo del taladro preferentemente con cartuchos acoplables como los de Exsacorte, o en ciertos casos carga amortiguada con espaciadores.
4. Taco inerte solamente para mantener el explosivo dentro del taladro, no para confinarlo.
5. Empleo de explosivo de baja potencia y velocidad, brisance, como el Exacorte.

6. Disparo simultáneo de todos los taladros de la línea de corte, sin retardos entre sí, y sólo después de la voladura principal. (Es conveniente un intervalo mínimo de 60 a 100 ms entre el último taladro de la voladura principal y los taladros de la línea de corte periférica).

7. Mantener el alineamiento y paralelismo de los taladros, de acuerdo al diseño del corte a realizar, de lo contrario no hay buen resultado.

○ **Ventajas de la voladura controlada**

a. Produce superficies de roca lisas y estables.

b. Contribuye a reducir la vibración de la voladura principal y la sobreexcavación, con lo que se reduce también la proyección de fragmentos y los efectos de agrietamiento en construcciones e instalaciones cercanas a la voladura. También facilita el transporte de los detritos de voladura, por su menor tamaño.

c. Produce menor agrietamiento en la roca remanente. Es importante tener en cuenta que la voladura convencional, según la carga y el tipo de roca puede afectar a las cajas techos a profundidades de hasta

1,50 y 2,00 m debilitando la estructura en general, mientras que la voladura controlada sólo la afecta entre 0,20 y 0,50 m, contribuyendo a mejorar el autosostenimiento de las excavaciones.

d. En minería puede ser una alternativa para la explotación de estructuras débiles e inestables.

○ **Desventajas de la Voladura Controlada**

a. Mayor costo que la voladura convencional por requerir más perforación y empleo de explosivos especiales o acondicionados a propósito.

b. Mayor demora en la obra, por el incremento del trabajo de perforación.

c. En algunos tipos de terreno no llega a dar los resultados esperados, como por ejemplo en material detrítico incompetente o deleznable. Mejores resultados por lo general se obtienen en rocas homogéneas y competentes.

Son varias las técnicas para voladura controlada desarrolladas en los últimos años, muchas veces

específicamente para un problema particular, pero las más aplicadas son:

- Voladuras de precorte
- Voladura de recorte
- Voladuras amortiguadas

Estas técnicas se efectúan tanto para trabajos subterráneos como en superficie.

1. Voladura de Precorte

Consiste en crear en el cuerpo de roca una discontinuidad o plano de fractura (grieta continua) antes de disparar la voladura principal o de producción, mediante una fila de taladros generalmente de pequeño diámetro, muy cercanos, con cargas explosivas desacopladas y disparos instantánea.

El disparo de los taladros de precorte también puede hacerse simultáneamente con los de producción, pero adelantándonos una fracción de tiempo de 90 a 120 ms, el disparo es pues en dos etapas.

Normalmente es necesario efectuar algunos disparos de prueba para conocer el comportamiento de la roca y ajustar parámetros, pero como guía puede aplicarse algunas ecuaciones propuestas para el caso, como las de C. Konya, así:

El factor de carga por pie de taladro que no cause daño a la roca, pero que produzca suficiente presión como para crear la acción de corte se puede estimar por:

$$q = [(\emptyset)^2 / 28]$$

Donde:

q : carga de explosivo por pie de taladro (lb/pie).

∅ : diámetro de los taladros vacíos, en pulgadas.

Si se aplica este factor de carga, el espaciamiento entre los taladros de precorte será determinado por la ecuación:

$$E = (10 \times \emptyset)$$

Donde:

E : espaciamiento, en pulgadas.

∅ : diámetro de los taladros vacíos, en pulgadas.

La constante 10 se aplica para asegurar que la distancia no sea excesiva y que el corte ocurra, pero según experiencia puede llevarse a 12 ó 14.

Estos valores por norma deben darse en el equivalente métrico. En la mayoría de aplicaciones de precorte no se estila sobreperforación. En algunos casos se aplica una carga concentrada de 2 a 3 veces al fondo del taladro, en otros toda la columna es desacoplada, es decir de baja energía y de menor diámetro que el del taladro.

Existen diferentes criterios respecto a las necesidades de taquear o no los taladros, y sobre la longitud del taco teniendo en cuenta la necesidad de mantener retenidos los gases de explosión en los taladros. Usualmente las rocas competentes no requieren taco mientras que sí son necesarios en las rocas fisuradas e incompetentes.

El precorte se aplica preferentemente en bancos de superficie para delimitar sectores, para cortar bloques; para evitar una excesiva sobrerotura hacia atrás (back break) y para formar los taludes finales del pit.

2. Voladura de Recorte

Consiste en la voladura de una fila de taladros cercanos, con cargas desacopladas, pero después de la voladura “principal” o de producción. El factor de carga se determina de igual forma que para los taladros de precorte, pero como esta técnica implica el arranque de roca hacia un frente libre, el espaciamiento normalmente es mayor que en el precorte, pudiendo ser determinado por la ecuación:

$$E = (16 \times \varnothing)$$

Donde:

E : espaciamiento.

∅ : diámetro del taladro vacío.

El disparo es también en dos etapas, primero los taladros de producción y después, con una diferencia de unos 100 ms, los de recorte.

Las condiciones de confinamiento de ambas son diferentes, en el precorte mientras no sale la voladura principal el burden es infinito, en tanto que en el recorte el burden tiene una distancia definida y razonable, después de haber salido la voladura principal, de modo que puede ser estimado en el diseño de la voladura.

El burden debe ser mayor que el espaciado para asegurar que las facturas se “encadenen” apropiadamente entre los taladros antes que el bloque de burden se desplace, pudiendo estimar con la ecuación:

$$B = (1,3 \times E)$$

Donde:

B : burden o línea de menor resistencia.

E : espaciado entre taladros.

Cuando los taladros de recorte tienen el mismo diámetro que los de producción la técnica se conoce como Trim Blasting

3. Voladura Amortiguada

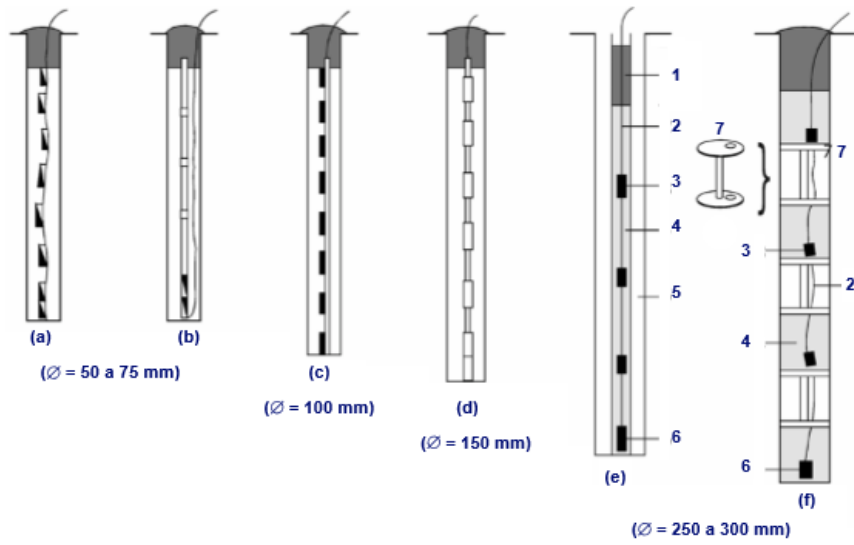
Es prácticamente una voladura convencional, pero en la que se ha modificado el diseño de la última fila, tanto en su esquema geométrico que es más reducido, como en las cargas de explosivo que deben ser menores y desacopladas. El disparo es normalmente en una sola etapa.

La voladura amortiguada también denominada suave o Cushion blasting, recientemente ha

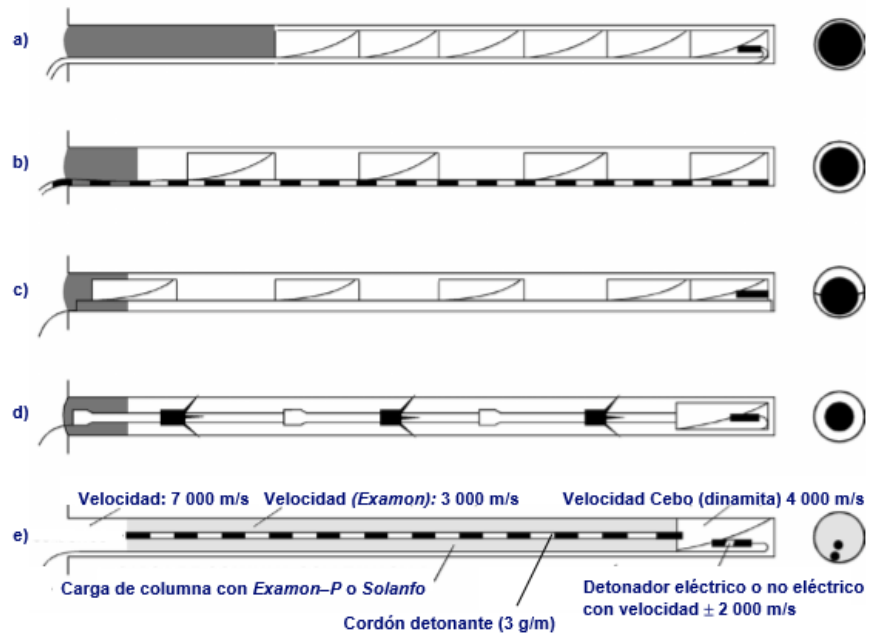
incrementado sus posibilidades con el desarrollo de nuevas técnicas como la de ADP (Air deck presplitting) y la de cargas especiales de baja densidad tipo Examon-R o ANFO combinado con prills de polietileno, aunque en este caso se presentan problemas de segregación en el carguío neumático por diferencias de densidad.

También se considera dentro de esta técnica a la “perforación en línea” (Line drilling) o control de fractura límite, en la que una fila de taladros de pequeño diámetro, estrechamente espaciados y sin carga explosiva crean un plano de debilidad que producirá el corte como efecto de la voladura principal. El plano actuará como una cortina que limita el paso de las ondas explosivas hacia atrás.

ESQUEMAS DE CARGA PARA VOLADURA CONTROLADA Y AMORTIGUADA EN BANCOS



**TALADROS DE SUBTERRANEO
ESQUEMAS DE CARGA PARA VOLADURA CONTROLADA**



2.2.9. VIBRACIONES:

Se entiende por vibraciones los fenómenos de transmisión de energía mediante la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio. El fenómeno de vibraciones queda caracterizado por una fuente o emisor, esto es, un generador de vibraciones, y por un objeto o receptor de las mismas. El fenómeno de las vibraciones se manifiesta mediante un movimiento ondulatorio.

2.2.9.1. Naturaleza cíclica de las voladuras

Según Dinis da Gama (1998), sólo cerca de 5 a 15 % de la energía liberada en la voladura de rocas, son efectivamente aprovechados para fragmentar la roca.

Por lo que la mayor parte de la energía contenida en los explosivos es transferida al ambiente circundante en forma de efectos colaterales, susceptible de causar impactos significativos.

De esos efectos, son cinco los que se destacan:

1. Vibraciones transmitidas a los macizos y a las estructuras adyacentes.
2. Onda aérea (ondas de choque que se propagan a través de la atmósfera conocida como "airblast" manifestándose en forma de ruido).
3. Proyección de fragmentos de roca.

4. Creación de polvos.

5. Sobre rotura del macizo rocos.

Las vibraciones son un movimiento cíclico que ocurre dentro de un medio, debido al paso de fases alternativas de compresión y tensión. Con respecto a las vibraciones por voladuras inducidas en la roca, generalmente se considera que la vibración es producida en el frente de detonación del explosivo, en la zona donde el explosivo sólido es convertido en gas, y la densidad del gas es aún igual a la densidad del explosivo sólido (zona de plasma). Esta zona de choque generalmente se considera que produce la mayor parte de la fragmentación primaria que ocurre en el macizo rocoso y la mayoría de las vibraciones. (Fig.).

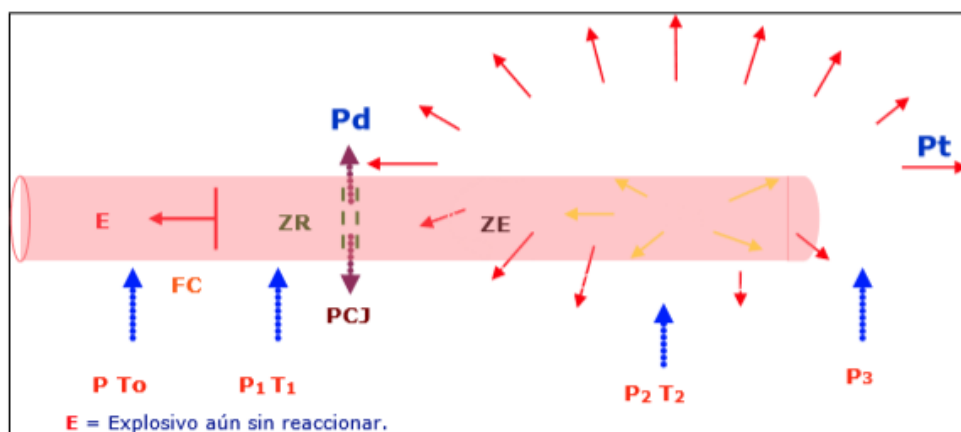


Fig. Después que el frente de detonación ha pasado, el gas se expande en las zonas detrás

Cuando la carga es detonada, la masa rocosa alrededor de la carga es inmediatamente sometida a compresión. Esto produce la componente de compresión del ciclo de vibración. Después de la fase de compresión, la roca sufre una fase de expansión en un intento a volver a su estado original. Ya que todos los materiales se comportan, en mayor o menor medida, como un resorte, una vez que la fuerza de compresión es removida, la roca se relaja y vuelve a su posición original pasando más allá de ésta. Como la roca se mueve más allá de su posición original, esto crea una fase de tensión del ciclo de vibraciones. (Fig.)

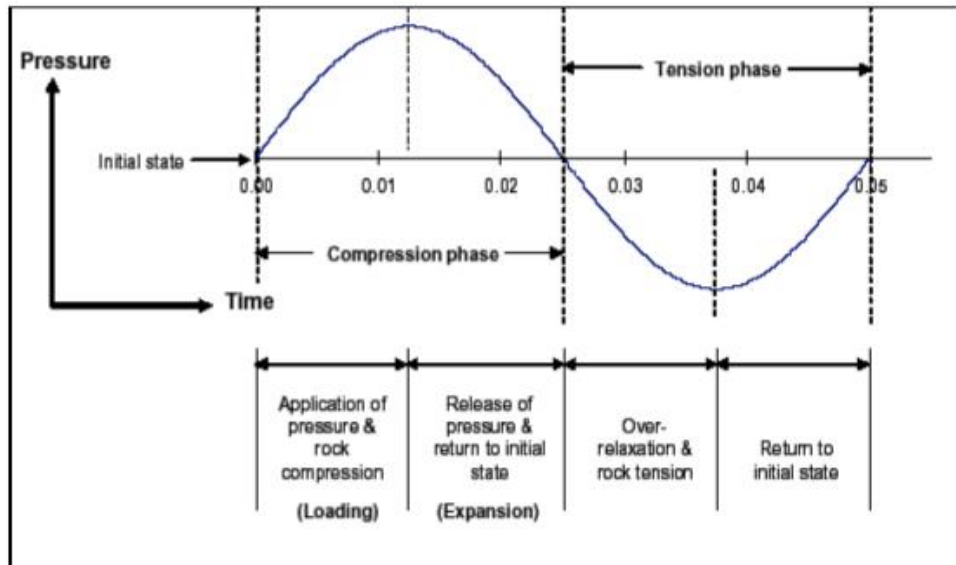


Figura N° : Ciclo de esfuerzo sobre la roca, compresión seguida por tensión Fuente: ENAEX S.A., Manual de Tronadura

Ya que la roca responde como un resorte al paso de las ondas de vibraciones, (el módulo de Young representa la rigidez del resorte), el ritmo al cual la roca se relaja puede ser diferente al ritmo a la cual es sometida la roca por un pulso de corta duración, que genera la detonación de una carga explosiva. En este caso, no es inusual ver, en rocas débiles con módulo de Young relativamente bajos, que las fases de compresión y tensión tienen diferentes amplitudes y diferentes duraciones (Figura).

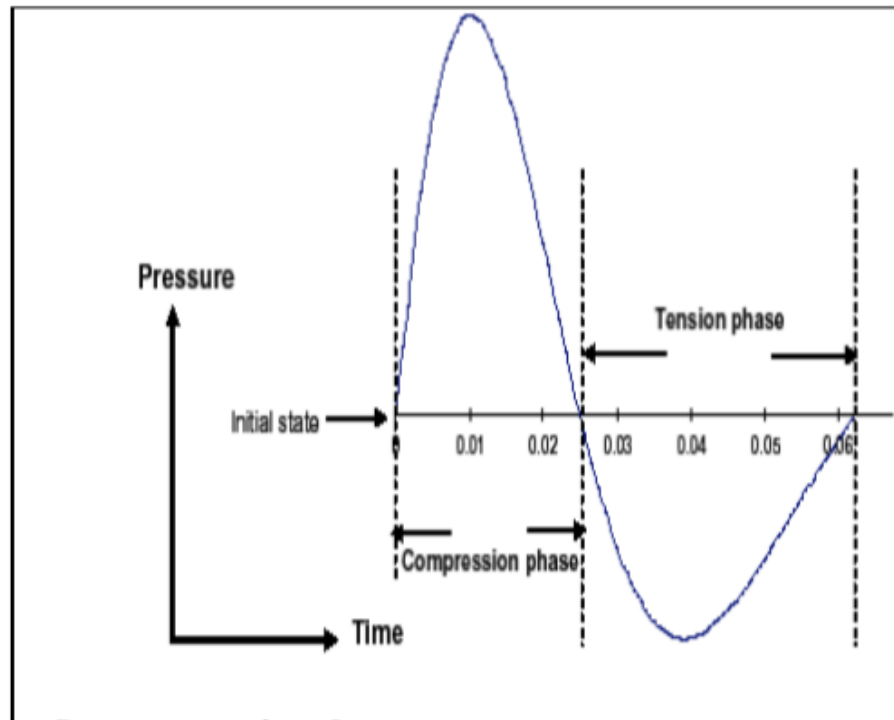


Figura N° : Presión y relajación no simétrica a u elemento de roca.

2.2.9.2. Frecuencia de Vibraciones:

La frecuencia de las vibraciones indica el número de veces por segundo que la onda de propagación pasa por un ciclo completo de compresión y tensión. El factor que tiene una gran influencia en esto es la dimensión de la carga, columnas grandes de carga tienden a producir bajas frecuencias. Sin embargo, otros importantes factores incluyen los módulos de la roca (módulo de Young, módulo de rigidez, etc.) y la razón de carga producida por la detonación (es decir la velocidad de detonación). La frecuencia dominante es considerada generalmente como el inverso del tiempo del ciclo completo.

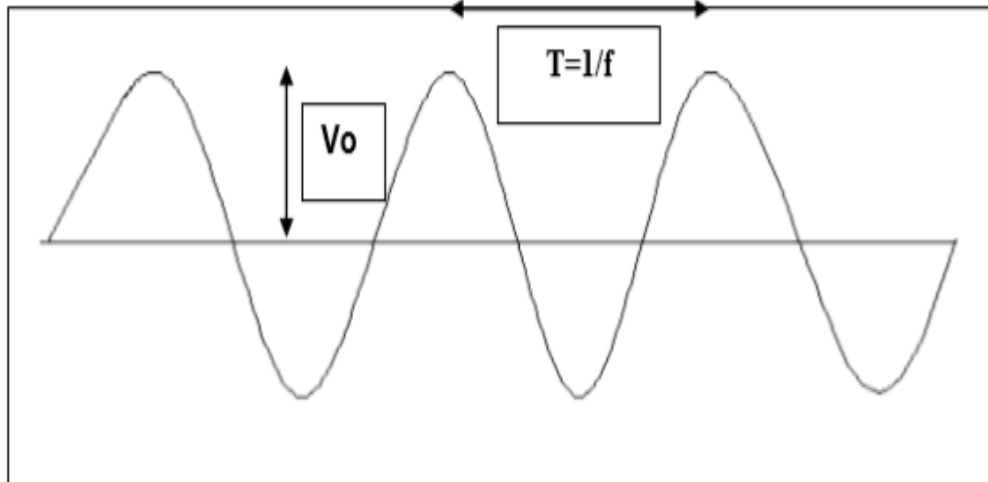


Figura N° : Frecuencia considerada como el inverso del tiempo del ciclo completo

2.2.9.3. Duración de la Vibración:

La duración de la vibración depende de dos factores principales – la duración de la voladura y la distancia del punto de monitoreo a la voladura. Para asegurar la velocidad pico partícula de vibraciones (generado por una voladura) sea registrado y que la cantidad máxima de información pueda ser extraída de un registro de vibración, es importante que se registre completamente la duración de la onda. Un buen registro de vibración mostrará un tiempo quieto previo al comienzo del registro de vibración, un completo detalle de la onda de vibración, y un tiempo después del paso de la onda, cuando el terreno ha vuelto a su estado de quietud inicial.

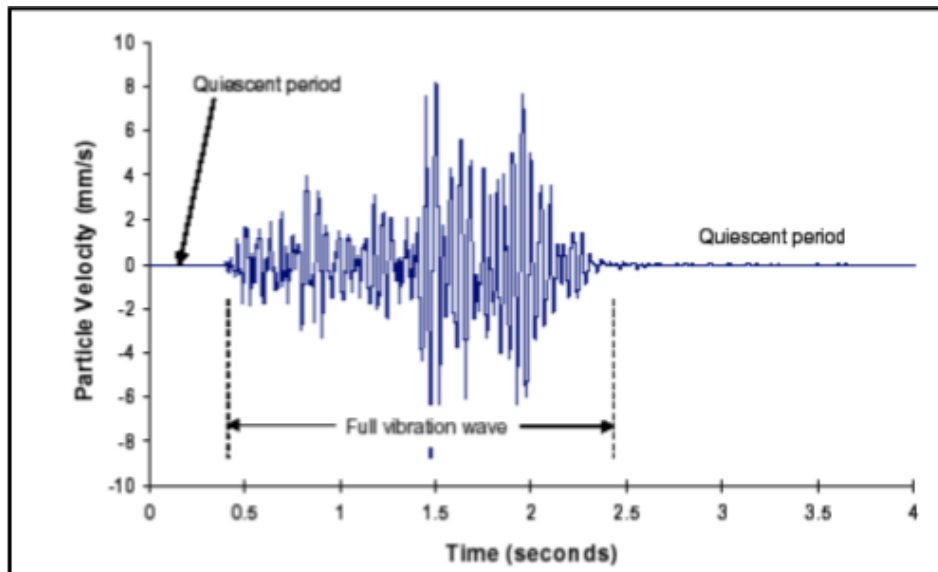


Figura N° 3.5; Duración de la vibración
Fuente: Rock Blasting and Explosives Engineering

La onda total de vibración, que es medida a partir de una voladura de producción, es el resultado de pulsos individuales producidos por cada taladro de voladura combinados todos en el punto de medición. El modelo en el cual ellas se combinan para formar la onda resultante variará de acuerdo a la dirección y distancia de la voladura, por lo tanto, dos registros de la misma voladura no producirán la misma onda de vibración. La duración de la vibración será un poco mayor que la duración de la voladura (es decir el tiempo entre la detonación del primer y último taladro). Normalmente la duración de la vibración es alrededor de 200 a 300 ms más larga que la duración de la voladura, debido al tiempo requerido para que la vibración llegue desde el último taladro detonado al punto de medición. La duración

de la vibración se incrementa con el aumento de la distancia de propagación, ya que en grandes distancias, la refracción y reflexión de la onda se combinan con la onda directa, y un lento movimiento de ondas de superficie y ondas de corte comienzan a aumentar, separadas del rápido movimiento de las ondas de cuerpo. A 500 metros la onda de vibración puede ser de 500 a 1000 ms más larga que la duración de la voladura.

2.2.9.4. Velocidad de Propagación:

La velocidad de propagación describe la velocidad con la cual la onda se desplaza a través de la roca. Esta velocidad puede ser medida utilizando dos geófonos ubicados a diferentes distancias de la voladura, y mediante la medición de la diferencia de tiempo de arribo de cada señal.

Cuando se usan múltiples geófonos para medir velocidad de propagación, la distancia de separación de los geófonos debe ser lo suficientemente grande para permitir un cálculo más preciso.

En la figura mostrada, los geófonos están separados 300 metros, y la diferencia de tiempo de arribo, t , es de 80 ms, correspondiendo a una velocidad de propagación de 3.750 m/s. La velocidad de propagación de onda P, V_p , se

calcula usando la ecuación simple $V_p = s/t$, donde s es la distancia de propagación y t es el tiempo de propagación.

La mayoría de las rocas tienen una velocidad de propagación entre 3000 m/s y 5000 m/s.

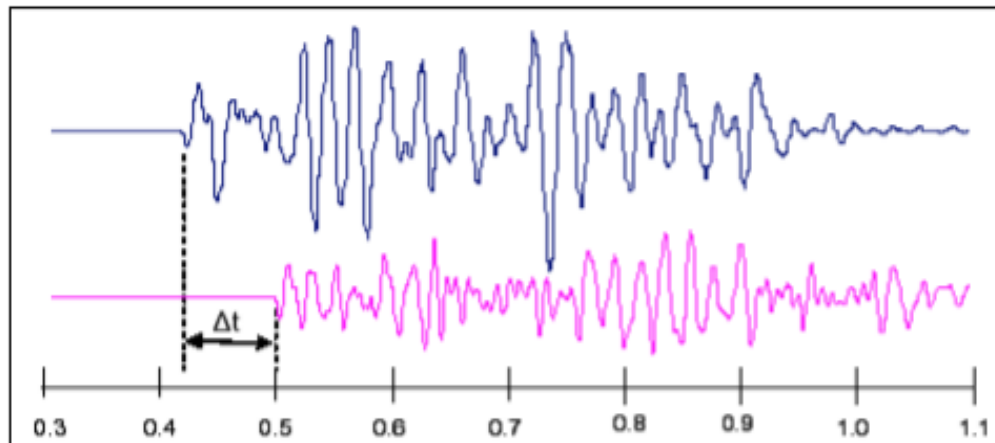


Figura N° : Velocidad de propagación

Fuente: ROCK BLASTING AND EXPLOSIVES ENGINEERING

2.2.9.5. Tipos de Onda de Vibración:

Los tres tipos principales de onda que se pueden observar cuando se monitorean las vibraciones generadas por voladura, aunque no todas ellas siempre se presentan o detectan- son los siguientes: Ondas de compresión; Ondas de corte o cizalle y ondas de superficie. Las ondas de compresión y de corte viajan dentro de la roca y pueden penetrar cientos de metros, aún kilómetros en la corteza

terrestre, y están referidas como ondas de cuerpo. Las ondas de superficie, sin embargo, se transmiten muy cercanas a la superficie del terreno, y penetran dentro de la corteza terrestre no más que 1,5 a 2 veces su longitud de onda (aunque esto pueda representar algunos cientos de metros).

Las ondas de compresión (también llamadas onda P) se caracterizan porque el movimiento de la partícula ocurre en la misma dirección de la propagación de la onda.

Las ondas de cizalle (también llamadas ondas-s) se caracterizan porque el movimiento de la partícula ocurre perpendicular a la dirección de la transmisión de la onda.

Las primeras ondas en llegar al punto de monitoreo siempre serán las ondas P, ya que viajan más rápido, aproximadamente entre un 30 a 50% más rápido que las ondas-s.

Hay diversos tipos de ondas de superficies, y las más conocidas son las ondas Rayleigh. Las ondas Rayleigh se caracterizan porque el movimiento de la partícula es elíptico, cuyo movimiento ocurre ya sea en la dirección horizontal y/o vertical en un plano vertical alineado con la dirección de propagación de la onda. La velocidad de propagación de las ondas de superficie es aproximadamente la mitad de la velocidad de la onda de corte.

En distancias pequeñas (por ejemplo menos de 300 metros) la contribución de las ondas de superficie al registro total es pequeña

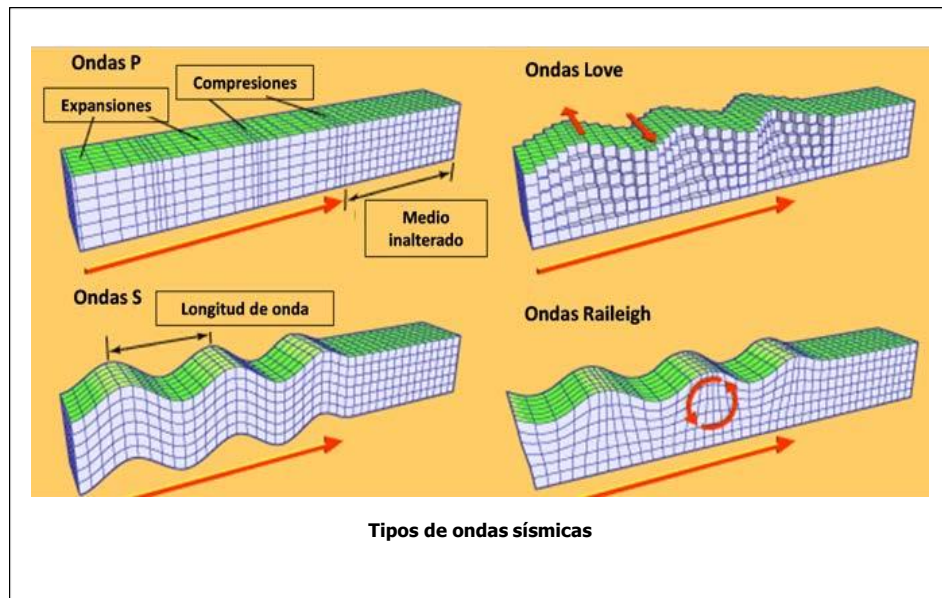


Figura N° : Variación del movimiento con el tipo de onda.

- Onda de compresión P
- Onda de corte S
- Onda de Rayleigh R

A distancias muy pequeñas (menos de 50 metros) existe una muy poca o casi imperceptible separación entre las ondas P y las ondas –s.

Para un monitoreo normal de vibraciones por voladura, es imposible evitar o eliminar en el registro cualquiera de los tipos de ondas antes mencionados. Todos los tipos de onda estarán presentes y serán grabados (aún si ellas no se pueden identificar individualmente) si los geófonos están

ubicados en la superficie del banco, o en el mismo punto dentro del banco. A distancias menores que 300 metros, las vibraciones serán dominadas normalmente por las ondas de cuerpo (compresión y corte).

- **Medidas de Vibraciones Producidas por Voladuras**

Es preciso hacer aquí una distinción entre aspectos bien diferenciados del fenómeno de la vibración. Uno de ellos es la propagación o transmisividad de la vibración por el medio y otro es el movimiento propio que el paso de la vibración genera en las partículas del medio. Cabe entonces diferenciar entre dos tipos de velocidades:

1. Velocidad de onda o de propagación es aquella con la que la vibración se propaga por el medio.
2. Velocidad de partícula es aquella relativa a las

oscilaciones que experimenta la partícula, excitada por el paso de la onda de energía vibratoria.

Como ya se ha dicho, una partícula sometida a una vibración experimenta un movimiento oscilante del que sus parámetros medibles pueden ser desplazamiento, velocidad, aceleración de partícula y la frecuencia del movimiento ondulatorio. Conociendo cualquier pareja de estos parámetros, se puede deducir el valor del resto, por integración y/o derivación. De todos los parámetros posibles de medida, universalmente se toma la velocidad de vibración como el que mejor representa el nivel de vibración y daños producidos, para edificaciones. No obstante, es imposible hoy día establecer un criterio fiable que no considere las frecuencias dominantes en la vibración. Las vibraciones reales no se corresponden a un movimiento armónico puro, pero cualquier señal recibida por el captador se puede representar como la suma de una serie de movimientos armónicos individuales, que se conoce con desarrollo en serie de Fourier de la señal.

2.2.9.6. Equipos de Medida de las Vibraciones Generados por Voladura:

Para recoger la oscilación generada por el terreno se emplean equipos de medida denominados sismógrafos. Un equipo de medida completo está representado en la figura 126 y consta de:

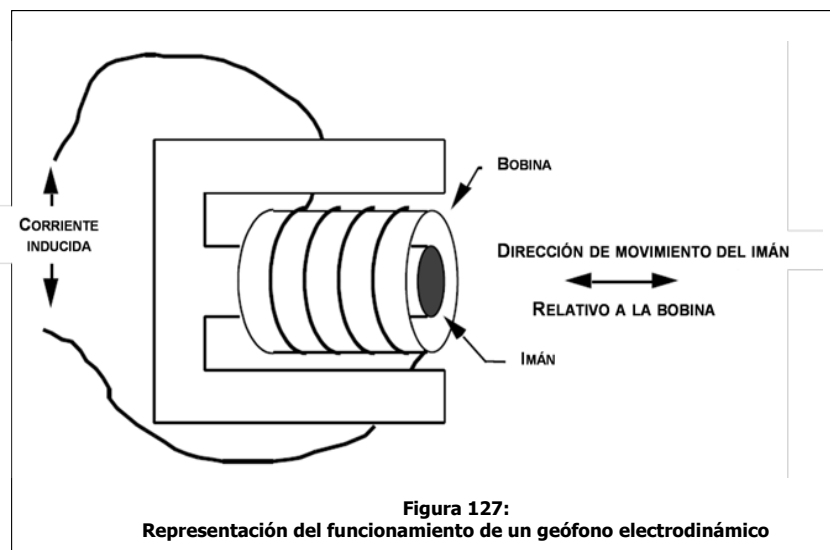
- Una serie de sensores o elementos para captar el ruido y las vibraciones del terreno transformándolos en impulsos eléctricos (micrófonos, velocímetros y acelerómetros).
- Un amplificador de la señal.
- Un módulo de memoria para el almacenamiento de datos.
- Algunos modelos incorporan un sistema de impresión que visualiza y gestiona los datos.

Para captar las vibraciones del terreno pueden utilizarse sismógrafos o acelerómetros.



Los sismógrafos más antiguos y actualmente en desuso consistían básicamente en una masa suspendida del aparato mediante un muelle, que al moverse el terreno no se desplaza con éste, sino que permanece inmóvil provocando la deformación del resorte. Esta deformación permitirá medir en distintas escalas, desplazamientos, velocidades o aceleraciones del movimiento. Obviamente la gama de frecuencias a la que estos aparatos son utilizables está limitada por la propia frecuencia natural del movimiento del muelle, pero por otra parte, cuanto mayor sea ésta, menores son las deformaciones del mismo y más débil la respuesta del aparato.

Los geófonos electrodinámicos son los más usados en la actualidad y están basados en el desplazamiento relativo de una bobina en el interior de un campo magnético lo que genera una fuerza electromotriz (f.e.m.) proporcional a la velocidad de desplazamiento. Uno de los elementos (el imán o la bobina) se fija al aparato y, con éste, al terreno, mientras que el otro está libremente suspendido de aquel y por tanto permanece inmóvil. De esta forma, la velocidad de partícula resulta ser proporcional a la f.e.m. generada.

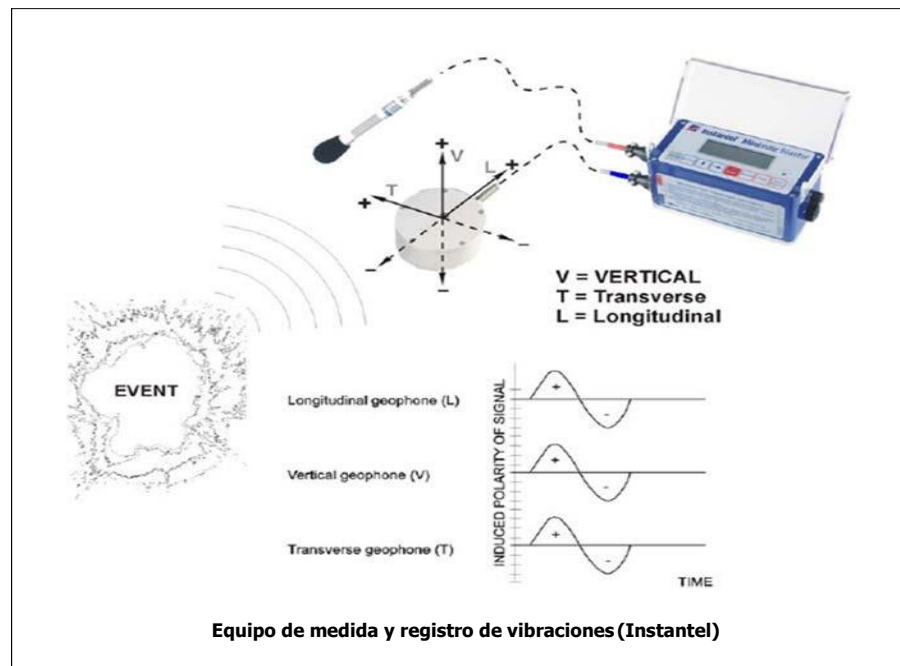


Los sismógrafos actuales llevan incorporado tres geófonos colocados perpendicularmente entre sí para captar la vibración producida en las direcciones del espacio. Así se puede recoger la respuesta en la

dirección longitudinal, vertical y transversal además de la onda aérea por medio de un micrófono.

Los acelerómetros se basan en el cambio de ciertas propiedades físicas de algunas sustancias cuando son sometidas a esfuerzos de presión y se caracterizan por dar respuesta tanto a altas como a bajas frecuencias.

Así los acelerómetros piezoeléctricos consisten en un material de este tipo (cuarzo o ciertos materiales cerámicos), en el que el esfuerzo de presión producido por el movimiento brusco del terreno genera una separación de cargas eléctricas, que se transforma en una corriente o diferencia de potencial proporcional a la aceleración del movimiento. Un circuito electrónico de integración adicional permite convertir los valores de aceleración en valores de velocidad (velocímetros), y éstos, a su vez en valores de desplazamiento.

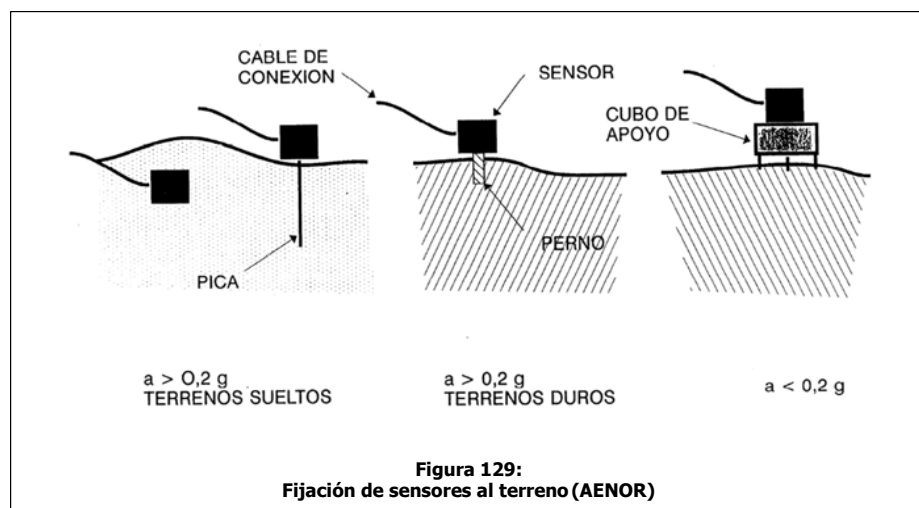


A diferencia de los acelerómetros piezoeléctricos, los acelerómetros piezo resistivos no generan corriente alguna, sino que, simplemente, por efecto de la presión, varía de forma proporcional la resistividad del elemento semiconductor que incorporan, normalmente sílice. De esta forma este material actúa como una resistencia variable. Generalmente un acelerómetro de este tipo está constituido por uno o dos pares de elementos semiconductores dispuestos de forma que el movimiento pone a un elemento en tensión y al otro en compresión, y así sus resistividades varían en sentido contrario, mejorando la sensibilidad del aparato. Esta variación de las resistencias se mide en un puente de Wheatstone. La principal ventaja de este tipo de acelerómetros es que dan

una respuesta más amplificada tanto para bajas como para altas frecuencias.

La forma de fijación de estos aparatos al terreno dependerá lógicamente de la superficie de fijación y de la magnitud esperable del movimiento a medir. Si se dispone de una superficie plana y horizontal y no es probable que la aceleración del movimiento vibratorio supere el valor de $0,2g$, siendo “g” la aceleración de la gravedad, el sensor puede estar simplemente apoyado sobre dicha superficie. En otras circunstancias, el sensor habrá de ser enterrado en el terreno o fijado al mismo mediante un sistema apropiado de adherencia o anclaje.

○ Ley de Trasmisividad



De forma genérica, el nivel de vibración recibida en un punto, expresado como valor de velocidad de vibración

V, es función directa de la carga de explosivo empleado Q, e inversa de la distancia D entre el punto de disparo y el punto de registro. Esto se puede expresar de forma genérica:

$$V = K \cdot Q^{\alpha} \cdot D^{\beta}$$

Siendo:

V = Velocidad de vibración (mm/s)

Q = Carga de explosivo (kg)

D = Distancia (m)

K, α y β son constantes que engloban la geología del terreno, la geometría de las cargas, las diferencias de cota entre los puntos de disparo y de medida, el tipo de propagación, el nivel de “aprovechamiento” de la energía en generar vibraciones, etc.

Por lo tanto, uno de los objetivos de un estudio de vibraciones es hallar el valor de las constantes K, α y β a través de un ajuste mínimo-cuadrático, realizado con los valores V, Q y D tomados en los ensayos.

El coeficiente de correlación “r” va a indicar si los puntos (V, Q, D) tienen alguna relación entre sí o no. Es decir, si se ajustan a una ley o no. Dicho coeficiente alcanza el valor máximo 1 cuando los puntos se ajustan

perfectamente a la ley y es 0 cuando los puntos se encuentran caóticamente repartidos.

Con objeto de tener una idea visual del ajuste de los puntos al plano, se representan en una gráfica de escalas logarítmicas los valores de V frente a los de Dr

$$\text{Siendo, } Dr = \frac{D}{\alpha} \cdot \frac{\theta}{\beta}$$

Dado que:

$$\log V = \log K - \beta \cdot \log \frac{D}{\alpha} \cdot \frac{\theta}{\beta}$$

La representación de dichos puntos ha de tomar una forma aproximadamente rectilínea.

La aplicación de la Distancia Reducida es un modo de normalizar los valores obtenidos de diferentes disparos y distancias de modo que puedan compararse y representarse conjuntamente de manera gráfica.

- **Control de Vibraciones Producidas por Voladuras**

El control de vibraciones producidas por voladuras se realiza por medio del cumplimiento de normativa

específica al respecto, en forma de criterio de prevención de daños.

El criterio de prevención de daños está contenido en la **Norma UNE 22.381.93 “Control de vibraciones producidas por voladuras”**. El nivel de seguridad es función de la frecuencia principal y de la estructura considerada.

El campo de aplicación de esta Norma se establece para aquellos casos de voladuras especiales en que se requiera la realización de un estudio de vibraciones.

Según el tipo de actividad, la presente norma es de aplicación a los trabajos con explosivos que se puedan clasificar en:

- Trabajos de explotación en minas y canteras, tanto en labores de extracción de materiales como en labores complementarias
- Trabajos de construcción en obras públicas.
- Trabajos de demolición y especiales, en los que generalmente se emplean pequeñas cargas (demoliciones en general, taqueos, regeneración de pozos, etc.)

Con relación a la posibilidad de realizar ensayos previos mediante explosivos con vistas a la obtención de datos para un estudio de vibraciones, hay que tener en cuenta que, en algunos trabajos, se puede alterar significativamente el elemento a volar con las pruebas. Este punto se tendrá en cuenta a la hora de definir el tipo de estudio requerido. Estas circunstancias se presentan sobre todo en los trabajos de demolición y especiales.

Así, las estructuras según la citada Norma pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- **Grupo I:** Edificios y naves industriales ligeras con estructuras de hormigón armado o metálicas.
- **Grupo II:** Edificios de viviendas, oficinas, centros comerciales y de recreo. Estructuras de valor arqueológico o histórico que por su naturaleza no presenten especial sensibilidad a las vibraciones.
- **Grupo III:** Estructuras de valor arqueológico o histórico que por su naturaleza presenten especial sensibilidad a las vibraciones.

Es interesante destacar que para el resto de estructuras no recogidas en esta Norma el estudio de vibraciones se ajustará a los criterios de la Administración

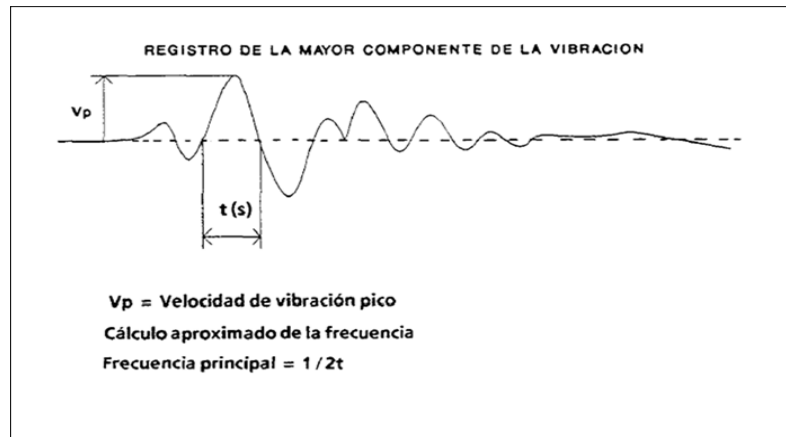
encargada de velar por la seguridad de las personas y las instalaciones, en función del objetivo del proyecto y del tipo de estructuras que previsiblemente puedan estar afectadas.

Las vibraciones derivadas de voladuras son oscilaciones transitorias y no periódicas que se propagan por el terreno a una velocidad característica del mismo o velocidad de propagación.

Se definen como parámetros característicos de la vibración en esta norma los siguientes:

- Valor pico de la velocidad de vibración en su mayor componente.
- Frecuencia principal de la vibración.

El valor pico de la velocidad de vibración corresponde a la máxima desviación del registro tanto positiva como negativamente sobre el origen (Figura 123). Si el registro de la vibración fuera en aceleración o desplazamiento tendría que ser integrado o derivado para obtener el registro de velocidad.



Dado que la vibración es un movimiento espacial, es necesario realizar, al menos, una medición de las tres componentes en tres direcciones perpendiculares entre sí, que normalmente suelen ser:

- Dirección vertical.
- Dirección longitudinal o componente horizontal en dirección a la voladura.
- Dirección transversal o componente horizontal perpendicular a la longitudinal.

Analizando los tres registros se seleccionará aquella componente que presente un mayor valor pico.

Al ser este tipo de vibraciones no periódicas, participan en ellas diferentes frecuencias, entre las cuales hay que seleccionar una frecuencia principal característica, que varía con el tipo de terreno y con la distancia, siendo tanto más baja cuanto más blando sea el

terreno (velocidad sísmica baja) y cuanto más distante esté el punto de registro.

Esta frecuencia principal se puede determinar por diferentes métodos, entre los que se mencionan los siguientes:

- Análisis de Fourier de la señal, cuyo algoritmo aplicado al cálculo por ordenador se conoce como FFT.
- Espectro de respuesta de la señal o pseudoespectro de velocidad.
- El método del semiperíodo, que consiste en determinar el tiempo entre el posterior al valor pico de la señal. Asignando ese valor al semiperíodo de la calcular ésta según las fórmulas siguientes:

$$t(s) = T_{\bar{2}} ; f(Hz) = 1_{\bar{T}} = 1_{\bar{2}} t$$

Estos parámetros característicos de la vibración servirán para su comparación con el criterio de prevención de daños.

Puede darse la circunstancia de que un registro presente varios picos de velocidad de vibración del mismo orden y con diferentes frecuencias. En este caso, habría que considerar la menor de las frecuencias. Esta

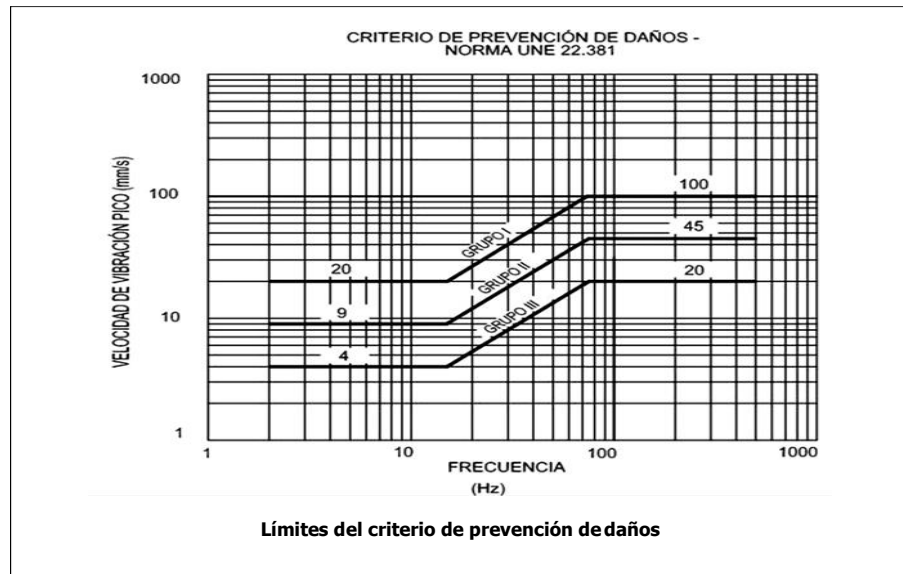
circunstancia queda cubierta si se realiza un análisis de Fourier o de respuesta.

Los límites del criterio de prevención de daños son los siguientes:

Tabla 4:			
Valores límites del criterio de prevención de daños UNE 22.381-93			
Valores límite del criterio	Frecuencia		
	2-15	15-	>75
	Velocidad (mm/s)	Desplazamiento (m)	Velocidad (mm/s)
Grupo I	20	0.21	100
Grupo II	9	0.09	45
Grupo III	4	0.04	20

En los tramos de frecuencia comprendida entre 15 y 75 Hz, se podrá calcular la velocidad equivalente, v , a través de la ecuación: $v = 2 \cdot f \cdot d$, siendo: f : frecuencia; d : desplazamiento indicado en la tabla

Excepcionalmente, se podrían aprobar niveles superiores a los indicados en casos concretos mediante la



presentación de un informe detallado y técnicamente justificado (v.g. análisis de la respuesta en estructuras especialmente diseñadas, acuerdos entre la propiedad de la estructura y la empresa operadora, etc.).

2.2.9.7. Tipo de Estudio Requerido:

El estudio requerido será función del tipo de trabajo a desarrollar mediante explosivos, de la estructura a preservar, del tipo de terreno, de la distancia existente entre la voladura y la estructura y de la carga máxima de explosivo a detonar instantáneamente o carga por secuencia.

En función del tipo de terreno y de la estructura a considerar, queda delimitado el tipo de estudio para unas condiciones de carga por secuencia y distancia determinadas. Utilizando la figura N° () se puede conocer el tipo de estudio que podría ser requerido siguiendo el proceso siguiente:

- a) Se determinará el tipo de macizo rocoso sobre el que está cimentada la estructura de acuerdo con la siguiente clasificación, que tiene en cuenta la velocidad sísmica estimada; es decir, la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el macizo rocoso considerado:
 - o Formación rocosa dura: Aquella cuya velocidad sísmica es superior a 4 000 m/s.
 - o Formación rocosa media: Aquella cuya velocidad sísmica está comprendida entre 2 000 y 4 000 m/s.
 - o Formación rocosa blanda: Aquella cuya velocidad sísmica es inferior a 2 000 m/s.

- b) Se determinará el grupo de estructura en función de la clasificación establecida como Grupo I, Grupo II, o Grupo III.

- c) Se determinará la distancia entre la voladura y la estructura en metros.

- d) Se determinará la carga máxima instantánea de proyecto en kg que se prevé detonar. Esta carga, también llamada carga operante, es la suma de todas las cargas de explosivos detonadas con el mismo número de detonador, y para secuencias entre números superiores a 8 ms. Si existen varias secuencias, se considerará la que tenga mayor carga.

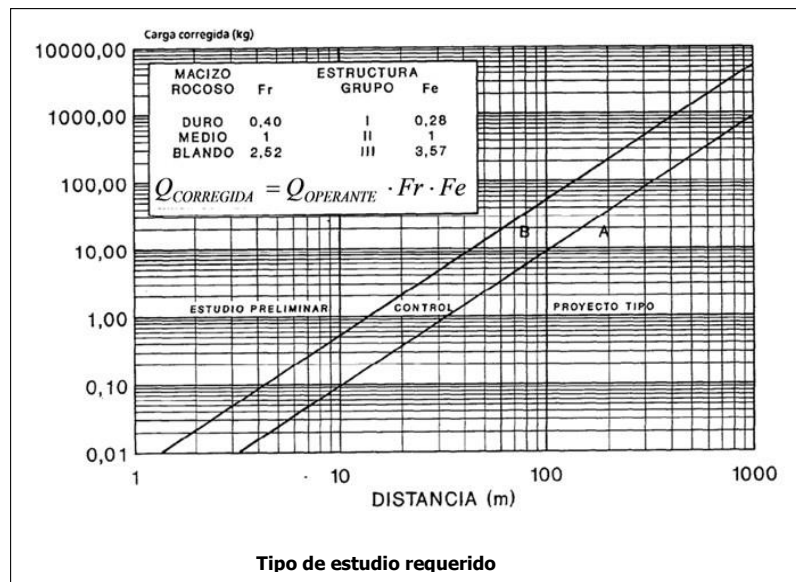


Fig. N°

En función del grupo de la estructura y del tipo de macizo rocoso se corregirá la carga instantánea multiplicándola por un factor Fe , que considera la estructura a preservar, y un factor Fr , que considera la frecuencia dominante que viene condicionada al tipo de macizo rocoso.

$$Q_c = Fr \cdot Fe \cdot Q$$

Los valores que toman Fe y Fr se pueden ver en las tablas siguientes:

Tabla 5: Los valores que toman Fe y Fr, según UNE 22.381-93				
Estructura Grupo	Fe		Macizo	Fr
			Rocoso	
I	0.		Duro	0.40
II	1		Medio	1
III	3.		Blando	2.52

Con el valor de Q_c , o carga corregida, y la distancia considerada, se entrará en la figura 126 definiendo el to P del caso que se estudia.

Si el punto P está por encima de la recta B, podría ser exigible un estudio preliminar de vibraciones. Si el punto P está entre la curva A y B, se podría requerir una medición de control de la voladura proyectada. Si, por último, el punto está por debajo de la recta A, sólo será necesaria la inclusión en el proyecto de esta justificación con la figura 127.

Para aquellos trabajos en los que la realización de ensayos previos suponga una alteración importante del

elemento a volar, el tipo de estudio requerido podrá ser únicamente uno de los siguientes:

- Medición de control.
- Proyecto tipo de vibraciones.

2.2.9.8. Definición de los Diferentes Tipos de Estudios de Vibraciones:

- **Proyecto tipo de vibraciones**

Este caso se produce cuando la posición del punto P en la figura 126 queda por debajo de la recta A, es decir, la carga instantánea de explosivo del proyecto es tan baja para esa distancia que es descartable cualquier incidencia de las vibraciones.

En este caso bastará con adjuntar al proyecto de voladura una hoja con la Figura 132 en la que figure el citado punto, así como una memoria explicativa.

- **Medición de control de vibraciones**

Este tipo de estudio puede ser requerido cuando el punto P esté situado entre las rectas A y B.

El control de vibraciones implica la medición del nivel de vibración de una voladura de producción en el punto definido.

Los datos que debe aportar un control de vibraciones son: carga máxima instantánea, carga por cada secuencia y secuencias empleadas, distancia y velocidad de vibración pico para cada componente junto a las frecuencias dominantes, así como la ubicación de los puntos de disparo y registro. También incluirá una breve descripción del terreno.

Si el nivel de vibración resultante del control fuera menor que el nivel fijado por el criterio de prevención de daños podrá incrementarse progresivamente la carga en controles posteriores, manteniendo igual el resto de los parámetros, hasta que los niveles resultantes sean iguales o inferiores al valor de vibración admisible.

Si el nivel de vibración resultante del control superase el nivel fijado por el criterio de prevención de daños, sería necesario un estudio preliminar de vibraciones para voladuras posteriores.

- **Estudio preliminar de vibraciones**

Este tipo de estudio podría ser requerido cuando el punto P esté situado por encima de la recta B.

Este tipo de estudio es necesario en circunstancias de trabajo tales que se desee conocer el comportamiento sísmico del terreno, es decir, la relación existente entre la carga detonada, la vibración generada y la distancia. Para ello, será necesaria la realización de ensayos previos.

Las pruebas pasarán por las siguientes fases:

- Determinación de la componente principal con un registro de las tres componentes.
- Medición de la componente principal en posiciones distantes entre sí de manera que cubran el área de interés.
- Medición con diferentes cargas instantáneas en orden creciente hasta llegar, si es posible, a cargas del mismo orden de las que se prevén utilizar controlando los niveles obtenidos in situ.
- Ajuste de los datos a una ley de amortiguación.
- Determinación de la frecuencia dominante en el rango de distancias estudiado.
- Determinación del nivel máximo de vibración obtenido del criterio de prevención de daños en función del tipo de estructura y de la frecuencia dominante.

2.2.9.9. Factores que afectan las Vibraciones:

Los parámetros que afectan a la generación de vibraciones generadas por voladura se pueden enumerar a continuación

- **Cantidad de explosivo que detona simultáneamente**

El factor más intuitivo que influirá en la generación de vibraciones producidas por voladuras es la cantidad de explosivo detonado en la voladura a la vez. En cambio, este valor no coincide con la carga total de la voladura, puesto que, debido a la secuencia de detonación diseñada, no detonan todos los barrenos a la vez. Está demostrado que la vibración generada por dos barrenos detonados con un retardo de 8 ms entre sí, no supone una mayor vibración en el terreno, puesto que las ondas no se solapan y se pueden considerar disparos independientes. Así, aquellos barrenos que detonan con un retardo de 8 ms o menos, implica un solape de las ondas de vibración, y, por tanto, un mayor valor en la vibración generada. Así, se denomina carga operante a la suma de todos los barrenos que detonan en una ventana de 8 ms, suponiendo, en este caso que el efecto sería el equivalente a la vibración generada por la suma de dichos barrenos.

- **Grado de confinamiento**

El grado de confinamiento influye en la generación de vibraciones puesto que un mayor grado de confinamiento implica una mayor dificultad en fragmentar y mover la roca, por lo que la energía generada por la detonación se transformará en energía sísmica que se transmitirá por el terreno. Visto desde el lado opuesto, un menor grado de confinamiento, implicará que la energía de la detonación se transformará con mayor facilidad en energía de fragmentación, así como en energía mecánica empleada en desplazar la roca volada.

- **Características de la roca**

Otro factor que tiene gran influencia en la generación de vibraciones es el comportamiento de la roca en la cual se ha producido la alteración sísmica. Esto es debido a que cada tipo de roca transmite de manera diferente las vibraciones, debido principalmente a su composición y a su densidad.

La densidad de la roca hace que cuanto mayor sea la densidad del medio, mayor capacidad de transmitir las ondas de vibración.

Con relación a la capacidad de transmitir las ondas de vibración, existe un parámetro que puede determinarse

en campo para cada tipo de roca que es la **velocidad sísmica** del macizo rocoso. Este parámetro se obtiene mediante la generación de un impulso en el macizo rocoso y midiendo la respuesta a una distancia conocida. Midiendo el tiempo que tarda en recorrer dicha distancia se obtiene la velocidad de transmisión de las ondas.

- **Distancia al lugar de la detonación**

Resulta evidente que un factor fundamental en la determinación de las vibraciones producidas es la distancia al lugar de la detonación. Así, es clave escoger los puntos de vibración sobre todo cuando estos puntos son puntos especialmente sensibles por afectar por las vibraciones en el terreno.

De este modo, es un factor determinante en el diseño adecuado de la voladura cuando el lugar de disparo se encuentra cerca de núcleos habitados o instalaciones industriales especialmente sensibles. En el otro extremo se situaría el caso en el que la voladura se encuentra en lugares aislados o remotos, donde una mayor generación de vibraciones no influye de manera notable en el entorno.

- **Geología del terreno**

La generación de vibraciones por voladura también se ve afectada por la estructura geológica del macizo rocoso, puesto que una gran fracturación o estratificación, hace que existan multitud de planos de reflexión de las ondas, actuando cada contacto entre estratos, o entre juntas, como un plano de discontinuidad del medio.

Por otro lado, cada tipo de roca tiene un comportamiento diferente en función de las características tensionales del medio. En este aspecto existen rocas más plásticas y otras más elásticas, de modo que son capaces de absorber las ondas vibratorias de modo diferente, y, por tanto, de transmitir las también de modo diferente.

- **LINEA DE ATENUACION:**

La atenuación es lo que disminuye (en potencia) la señal enviada debido, principalmente, a la distancia del bucle (la línea de teléfono). Otros factores que pueden afectar es la sección (grosor) del cable o puentes que haya hasta la central. Este número no se puede modificar fácilmente (quizá 1db o 2db, más si la instalación está realmente mal). Este número cuanto más bajo mejor.

El nivel de ruido de la línea se mide en SNR (signal to noise ratio) que es la diferencia en potencia entre el nivel de

la señal y el nivel de ruido en el punto de la medición, y se mide en decibelios también. Los routers/modems dan la medida en otra unidad un poco distinta: margen de SNR, que es la diferencia entre el SNR medio de la línea y el SNR necesario para mantener la velocidad de sincronía actual. Es digamos el margen que se deja para que la línea aguante ruido impulsivo. Este número cuanto más alto mejor. En las líneas de hasta 20mbps siempre se sincroniza al máximo de la línea, y siempre es el SNR el factor limitante (no es la atenuación) por lo tanto, siempre que se sincronice al máximo, el margen de SNR estará normalmente entre 8 y 10dB, así está configurado en los DSLAM.

Para descartar problemas con la instalación interna, se suele probar en el Punto de Terminación de Red, si da unos valores parecidos a los que se tienen en la roseta normal, la instalación interna está bien. Si mejora, hay que revisarla.

La escala usada es el dB, logarítmica, o sea que por ejemplo hablando de atenuación 10dB son que la señal que llega es 10 veces menos potente a la que se emitió, 20dB son 100 veces menos potente, 30dB es 1000 veces menos potente, etc. Misma escala con el margen de SNR.

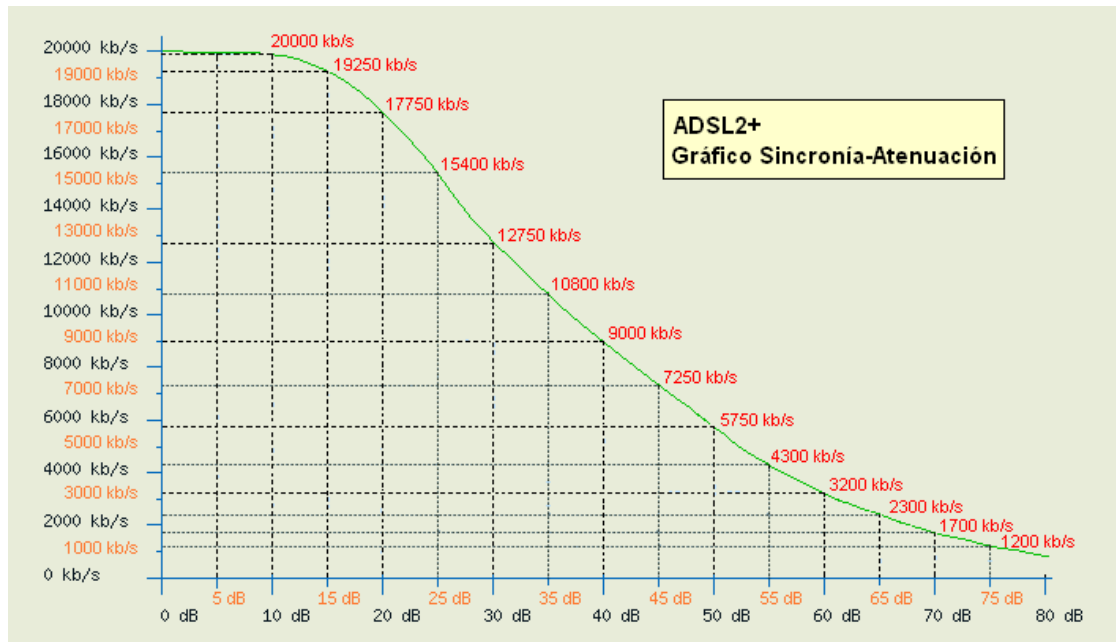
Como referencia, para hacerse una idea:

- **ADSL 6mb**

Atenuación: para que sincronice bien a 6 megas, normalmente la atenuación en bajada (downstream) debe ser inferior a unos 35dB. Con pares nuevos 45dB no son un problema tampoco, aunque no es muy común. Hay casos en los que se puede tener una atenuación de 50dB y sincronizar a 4 megas aprox, debido a que la línea sea muy buena (o sea, un margen de SNR alto o lo que es lo mismo poco ruido de fondo) y que esto "compense" por la atenuación alta. Al fin y al cabo, lo importante es mantener un SNR alto. Dejando ruido aparte (es decir, teniendo en cuenta un valor de ruido "normal"):

- Una atenuación de menos de 20 dará para cualquier velocidad actual y futura
- Entre 20 y 30 se llega a 6 megas sin problemas en la mayoría de líneas pero puede que empiece a quedarse un poco corto para velocidades mayores
- Entre 30 y 40 empiezan a fallar para llegar a 6 megas las líneas más antiguas, pudiendo sincronizar entre 3 y 5 megas
- Entre 40 y 50 lo normal es llegar a los 3-4 megas y algo, no muchas líneas llegarán a 6 megas
- Entre 50 y 60 tendrás suerte si llegas a los 2-3 megas, lo normal quedarse en 2 megas y algo.
- Más de 60: Difícil que pase del mega, mega y medio, dos megas como mucho.

ADSL2+



Por el gráfico mostrado para saber aproximadamente lo que aguantará la línea, suponiendo un ruido "estándar". No lo toméis al pie de la letra, ya que cada línea es distinta.

Es NORMAL que el margen de SNR baje cuando la velocidad aumenta. Cuanto mayor sea la velocidad, más SNR se necesita. Por lo tanto, si aumentamos la velocidad, reducimos el margen de SNR, ya que el SNR-necesario-para-esa-velocidad aumenta, sin embargo el SNR-línea permanece constante: Baja el margen de SNR.

En algunos routers hay un cálculo de lo que aguantará la línea más o menos, normalmente se llama 'Attainable Rate'. Calcula esto con el SNR de cada tono.

Para mirar los datos de atenuación y ruido con algunos modelos:

- **3com 812:** comando 'sh ad t' por telnet
- **zyxel:** por telnet, entrando en linea de comando (menu 24.8) son los comandos 'wan adsl line far' y 'wan adsl line near'.
- **zyxel VMG1312-B10A:** por telnet, es el comando 'adsl info -show'.
- **comtrend ct350/351:** en la ventana de estado, ALT+D abre una ventana de diagnóstico.
- **USR 9105/9106:** <http://192.168.1.1/statsadsl.html>, sustituir 192.168.1.1 si se tiene otra IP privada para el router.
- **SS5660:** http://192.168.10.254/dslstatus_dmt2.html, sustituir 192.168.10.254 por la IP privada que se tenga.
- **D-Link G604T:** <http://192.168.1.1/cgi-bin/webcm?getpage=../html/status/modemstatus.htm>
- **Comtrend 536+:** <http://192.168.1.1/statsadsl.html>, sustituir 192.168.1.1 si se tiene otra IP privada para el router. Puedes hacerlo a través de telnet/ssh pulsando 1 en el menú que te sale.
- **Speedtouch 510:** por telnet, 'menu adsl info'.

- **Comtrend CT-500:** Por telnet, navegar por MAIN - MON hasta ADSLPERF
- **Huawei MT882:** Por telnet, comandos 'wan adsl line far' y 'wan adsl line near'.
- **Amper Xavi**
- **7768r:** http://192.168.1.1/configuration/ports_advanced.html?99, sustituir 192.168.1.1 si se tiene otra IP privada para el router.
- **ThomsonTG585v7:** <http://192.168.1.1/cgi/b/dsl/dt/?be=0&l0=2&l1=0> sustituir 192.168.1.1 si se tiene otra IP privada para el router.
- **Livebox:** <http://192.168.1.1/> sustituir 192.168.1.1 si se tiene otra IP privada para el router. Básica > Estado > Estado ADSL.

2.2.10. SISTEMA DIGISHOP PLUS

El sistema DigiShot™ Plus™ es otra optimización tecnológica para los sistemas de disparo, DigiShot™ Plus posee:

- **Completa funcionalidad de Testeo:** El sistema de iniciación electrónica DigiShot™ Plus automáticamente comprueba el funcionamiento del detonador. El Tagger puede ser usado para testear un detonador individualmente, parte de la malla o la instalación completa antes de abandonar el banco.

- **Iniciación Remota inalámbrica:** El sistema DigiShot Plus puede ser iniciado remotamente hasta una distancia de 3500m (con línea de mira) alejado del banco. La versatilidad del sistema incluye la capacidad de usar línea de cable donde se requiera. Múltiples características de seguridad están incluidas dentro de la función de disparo (en modo remoto o local) para proporcionar al usuario seguridad y una tronadura libre de errores.

Al momento de ejecutar las operaciones de voladura, el personal deberá estar en una ubicación segura, usualmente a una distancia considerable de la voladura. Para maximizar la seguridad durante las voladuras, el sistema DigiShot™ Plus™ fue diseñado para utilizar frecuencias de radio para iniciar voladuras. Al utilizar frecuencias de radio, el sistema puede programar los detonadores y disponer de un comando que pueda elevar los voltajes. Sin embargo estos procesos sólo son posibles si todos los bloqueos de seguridad están en su lugar y cuando haya una línea en la mira entre equipos. Si no existe una línea en la mira debido al diseño de la mina, entonces la iniciación del disparo puede llevarse a cabo por medio de un cable de disparo en modo local o utilizando una antena repetidora.

- El Tagger de DigiShot Plus es inherentemente seguro, liviano, amigable al usuario, aparato manipulable y portátil utilizado para asignar la ubicación del detonador DigiShot Plus con un mínimo uso del teclado que se suma a la funcionalidad del chequeo del sistema.
- El Bench Box del DigiShot Plus puede programar e iniciar la voladura en cualquier punto después que los tiempos de retardos deseados se hayan ingresado. Por flexibilidad, los tiempos de retardo pueden ser ingresados el mismo día de la tronadura o cualquier día antes. El menú de pantalla del equipo es fácil de seguir a través de todas las operaciones de asignación de retardo e iniciación. Un Bench Box de DigiShot Plus puede iniciar hasta 1800 detonadores.



Fig.

a) Resumen de los Beneficios

- Mas Control: Más control del impacto ambiental de tronaduras (ej. Vibración), apilado del material, carguío y rendimiento del chancador, estabilidad talud, y otros beneficios operacionales son posibles con el sistema de iniciación electrónico DigiShot Plus.
- Componentes mínimos en el banco simplifican el uso: El conector del detonador electrónico DigiShot Plus se engancha fácilmente en la malla de conexión de 2 vías en la superficie. No se necesitan más accesorios.

- **Conveniente:** Diseños de tronadura y tiempos pueden ser programados anticipadamente en el Bench Box del DigiShot Plus, o en el día de la tronadura, lo que sea más conveniente.
- **Tiempos de retardo automático o programable:** Rápida y simple auto-programación de los retardos ahorra tiempo y reduce errores cuando se compara con la asignación manual de detonadores individualmente. Es posible subir al equipo de control y disparo de DigiShot™ Plus, previo a la fecha de voladura, el diseño de la malla y los tiempos de retardo de todos los detonadores y descargar la información directamente a la malla de voladura el día del disparo utilizando el software de análisis y simulación de voladura ViewShot™ de DetNet, o con la aplicación Plan Talk
- **Seguridad:** El equipo de control de DigiShot™ Plus, está protegido por contraseña y requiere de una llave SmartKey DigiShot™ Plus antes que la señal codificada de disparo pueda ser enviada para iniciar la tronadura DigiShot Plus.
- **Tronadura Remota Inalámbrica:** La tronadura puede ser iniciada mediante conexión inalámbrica para disparos remotos.

- Fácil de usar y rápido de desplegar: Estructura del menú del software orientado a minimizar el tiempo de entrenamiento de un Usuario. El proceso de amarre es más rápido pues los tiempos de retardo se ingresan a distancia desde el Bench Box.

La conexión pozo a pozo es rápida y fácil, gracias a conectores grandes, robustos y resistentes al agua y agentes externos. Distintas personas pueden conectar diferentes secciones de la voladura al mismo tiempo.

- Flexibilidad en el diseño de la voladura
 - Programación exacta.
 - Los retardos pueden ser programados con una diferencia de hasta una milésima de segundo.
 - El sistema permite trabajar con tiros especiales.
 - El sistema puede tratar distintas configuraciones de primado y tiempos.
 - La programación individual de retardos, la auto-programación y la programación automática utilizando el software ViewShot™ de DetNet, para subir la información diseñada en un PC a los detonadores en la malla en el banco a través del Bench Box, permiten al usuario final disponer de infinitas posibilidades de configuración de primado y tiempos.

- Fácil de aprender: Estructura del menú del software orientado a minimizar el tiempo de entrenamiento completo de un Usuario. El proceso de amarre es más rápido pues los tiempos de retardo se ingresan a distancia desde el Bench Box.

El sistema posee un concepto simple de conexión.

2.2.11. ACTIVIDADES REALIZADAS

Las actividades del presente informe se desarrollaron participando en la perforación y carguío de los taladros en Tajos bajo losa (Tajo 1010) con un RMR 25-35 y sub niveles (S/N 02) con un RMR 25-35. Registrando parámetros técnicos de voladura, trazos de perforación y carguío de explosivos en los frentes de avance. En estas labores se monitorearon las vibraciones que producen las voladuras de las ondas longitudinales, transversales y verticales. Cabe resaltar que los trabajos se realizaron con la participación del personal de Área de Perforación y Voladura.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.

- **Voladura de rocas:** La voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de los taladros perforados en la roca originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: Fragmentación y desplazamiento.

- **Voladura controlada:** El objetivo de la voladura controlada es evitar el rompimiento de la roca fuera de límites previamente establecidos, es decir evitar la sobre rotura (overbreak).

Consiste en distribuir linealmente la carga explosiva de baja energía y ubicarlos en taladros muy cercanos entre sí, posteriormente se disparan simultáneamente al final de la secuencia de la voladura.

- **Emulsiones:** Son explosivos introducidos en los años 70' s. Son el resultado de emulsionar sustancias inmiscibles, como nitrato de amonio diluido en agua y algún ácido graso, El resultado son pequeñas gotas de nitrato de amonio diluido rodeadas por el ácido graso.

Se sensibilizan con el aire, el cual puede proporcionarse por medio de pequeñas esferas huecas o bien con una reacción química obtenida al momento de producir explosivo. Son resistentes al agua y presentan algunos problemas en su manejo debido a su consistencia. Se utilizan carga de fondo o cuando se tienen problemas de agua en los barrenos y al igual que los hidrogeles pierden energía al momento de detonar por el mal acoplamiento con los barrenos cuando las emulsiones son encartuchadas.

- **El sistema DigiShot™ Plus™:** Es otra optimización tecnológica para los sistemas de disparo, DigiShot™ Plus posee: El sistema de iniciación electrónica DigiShot™ Plus, automáticamente

comprueba el funcionamiento del detonador. El Tagger puede ser usado para testear un detonador individualmente, parte de la malla o la instalación completa antes de abandonar el banco.

- **Costos operativos o de producción mina:** Los costos de operación se definen como aquellos generados en forma continua durante el funcionamiento de una operación minera y están directamente ligados a la producción, pudiéndose categorizarse en costos directos e indirectos.

- **Explotación:** El método de explotación es la estrategia global que permite la excavación y extracción de minerales de un yacimiento mineral, aplicando técnicas y procedimientos de la forma económica más eficiente a través de la mecanización.

- **Factores tecnológicos:** Para la aplicación de un método de explotación se busca la mejor combinación entre las condiciones naturales y el método: Porcentaje de recuperación, dilución, flexibilidad a cambios en la interpretación o condiciones, selectividad, concentración o dispersión de frentes de trabajo, capital, mano de obra, y mecanización.

- **Factores medioambientales:** Los factores medio ambientales que influyen en la aplicabilidad de un método de explotación generalmente son factores político, social, económico; y también las formas de trabajo que se realizan; esto implica: control de

excavaciones para mantener integridad de estas (seguridad), subsidencia y efectos en superficie, control. atmosférico (ventilación, control de calidad de aire, calor, humedad), fuerza laboral (contratos, capacitación, salud y seguridad, calidad de vida, condiciones de comunidad).

- **Combustión:** Puede definirse como tal o toda reacción química capaz de desprender calor pudiendo o no, ser percibida por nuestros sentidos, y que presenta un tiempo de reacción bastante lento.
- **Detonación:** Es un proceso físico-químico caracterizado por su gran velocidad de reacción y por la formación de gran cantidad de productos gaseosos a elevada temperatura, que adquieren una gran fuerza expansiva (que se traduce en presión sobre el área circundante).

En los explosivos detonantes la velocidad de las primeras moléculas gasificadas es tan grande que no ceden su calor por conductividad a la zona inalterada de la carga, sino que los trasmite por choque, deformándola y produciendo calentamiento y explosión adiabática con generación de nuevos gases. El proceso se repite con un movimiento ondulatorio que afecta a toda la masa explosiva y que se denomina “onda de choque”, la que se desplaza a velocidades entre 1 500 a 7 000 m/s según la composición del explosivo y sus condiciones de iniciación.

- **Matriz rocosa:** Material rocoso sin discontinuidades o bloques de roca intacta entre discontinuidades (muestra de mano o mayor). A pesar de considerarse continua es heterogénea y anisótropa, ligada a la fábrica, textura y estructura, mineral.
- **Zonificación geomecánica:** Proceso de delimitación de zonas en donde la masa rocosa tiene condiciones geomecánicas similares y por lo tanto también comportamiento similar.
- **Perforación:** Es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es abrir en la roca huecos cilíndricos denominados taladros y están destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores.
- **Velocidad de detonación:** Es la medida de la velocidad con la que viaja la onda de detonación a lo largo de la masa o columna de explosivos, sea al aire libre o dentro de un taladro.
- **Vibraciones:** Se entiende por vibraciones los fenómenos de transmisión de energía mediante la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio. El fenómeno de vibraciones queda caracterizado por una fuente o emisor, esto es, un generador de vibraciones, y por un objeto o receptor de las mismas. El fenómeno de las vibraciones se manifiesta mediante un movimiento ondulatorio.

2.4. Hipótesis: Genéricos y Específicos.

2.4.1. Hipótesis General

Si usamos adecuadamente el sistema electrónico de voladura DigiShot™ Plus™, entonces podemos reducir los costos en Compañía Minera Atacocha S.A.

2.4.2. Hipótesis Específicas

2.4.2.1 Si usamos adecuadamente el sistema electrónico de voladura DigiShot™ Plus™, entonces será posible minimizar el daño al macizo rocoso en la periferia a excavar.

2.4.2.2. Si Controlamos los efectos de la vibración del macizo rocoso, entonces optimizaremos el uso del sistema electrónico de voladura DigiShot™ Plus™ en compañía minera Atacocha S.A.

2.4.2.3. Si utilizamos el sistema electrónico de voladura DigiShot™ Plus™, se da de forma adecuada, se logrará una mejora continua en los ratios de voladura (KPI) de Compañía Minera Atacocha S.A.

2.5. Identificación de las Variables

2.5.1. Variables Independientes.

- a) Uso del sistema electrónico de voladura DigiShot™ Plus

2.5.2. Variables Dependientes.

- a) Reducción de costos en la voladura.
- b) Daños del macizo rocoso
- c) Ratios de voladura (KPI)

2.5.3. Variables Intervinientes.

- a) Clima y topografía
- b) Aspecto socio-económico de los pobladores cercanos a la Compañía
- c) Vías de comunicación
- d) Entorno de la Empresa

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación.

El presente trabajo de investigación es de tipo metodológico **aplicado** en esta investigación se considera como no experimental según Narváez, Rosa (1997), este tipo de investigación sugiere la formulación de objetivos y/o preguntas de investigación. Cabe destacar que esta investigación corresponde a las investigaciones explicativas, descriptivas, evaluativa, de acción, de diseño y los estudios de campos entre otras. Es por esto que se dice que el

presente estudio es de campo, ya que permitirá en forma directa, la observación y recolección de datos.

Descriptivo, según Sabino, Carlos (1999) señala que, consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento. “Los estudios descriptivos miden de forma independiente las variables, y aun cuando no se formulen hipótesis, las primeras aparecerán enunciadas en los objetivos de investigación.

Por lo tanto, el tipo de investigación para este trabajo también es Descriptivo, debido a que permite analizar, registrar y describir las actividades ejecutadas en este proceso.

3.2. Diseño de la Investigación.

El presente estudio comprendió al diseño que se uso de acuerdo a los objetivos, las hipótesis con esquema siguiente:

OG = Objetivo General

HG = Hipótesis General

CG = Conclusión General

OG = HG + CG.

3.3. Población Muestra.

3.3.1. Población

La población está constituida por todas las labores de explotación de la COMPAÑÍA DE MINERA ATACOCHA S.A.

3.3.2. Muestra

La muestra, está constituido por la referencia de los tajeos de la Compañía Minera Atacocha S.A. En los cuales se realizarán diagnósticos y evaluaciones.

3.4. Métodos de la Investigación.

Percepción directa del objeto de investigación con un objetivo consiente:

- Objetividad.
- Validez.
- Confiabilidad.

La presente investigación se aplicarán los métodos deductivo, evaluativo, explicativo, análisis y síntesis. Se tomarán datos de campo y se buscarán informes respecto a las voladuras.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

3.5.1. Primera etapa, referido a planeamiento en gabinete.

3.5.2. Segunda etapa, referido al trabajo de campo consistente en la recolección de datos.

3.5.3. Tercera etapa, consistente en la realización de pruebas en laboratorio.

3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.

3.6.1. Asignación de Ubicación de Detonadores

Durante el marcado, a cada detonador se le asigna una ubicación en términos de su posición dentro de la malla de voladura. La ubicación se describe por:

- Lado: indica si el detonador está ubicado al lado derecho o izquierdo del Punto de Inflexión (IP)
- Número de Fila: Indica en qué fila dentro de la malla de voladura se encuentra el detonador
- Número de Tiro: Indica en qué tiro específico se encuentra el detonador
- Cantidad de detonadores por tiro: En aplicaciones de Decking de tiros, se podrá utilizar más de un detonador por tiro

Durante el proceso de marcado, cada detonador se debe conectar individualmente al Tagger, para recibir una ubicación digital “localización” a la vez que se comprueba su funcionalidad.

El plano de voladura deberá ser llevado al banco durante la operación de marcado con el fin de otorgar las ubicaciones correctas a los tiros y que el detonador pueda ser marcado mientras que el usuario se sitúa en dicho tiro.

La ilustración siguiente se basa en un típico diseño de voladura tipo chevron y podrá ser utilizado para entender la localización de un detonador en este sistema.

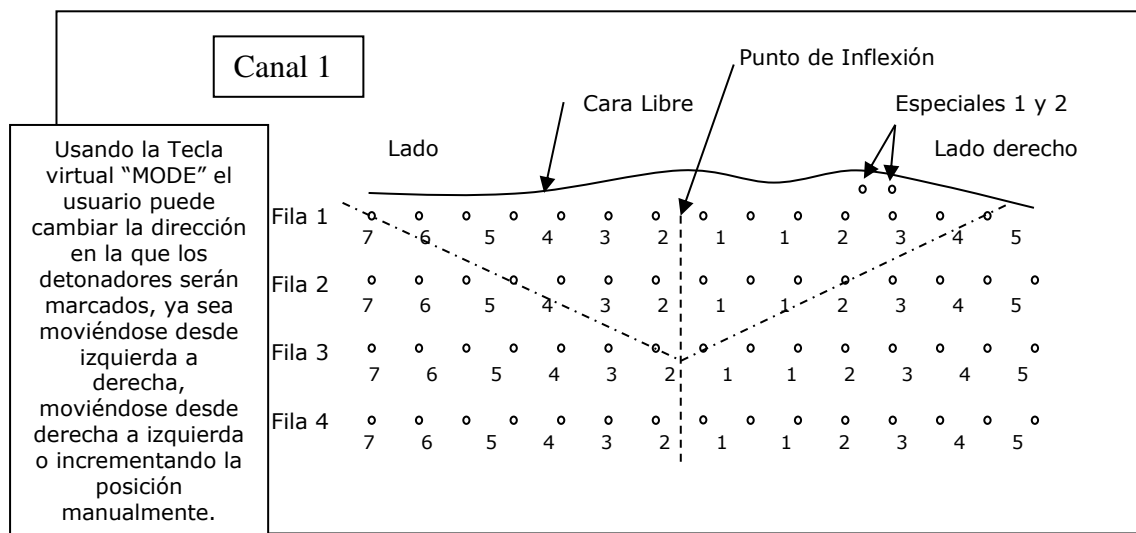


Ilustración 5.1

Es importante que al determinar la ubicación de un detonador, se consulte el diseño de voladura y se determine el punto de inflexión (PI) y posteriormente se divida la voladura siguiendo un patrón de Izquierda a Derecha. Este patrón asume que uno se encuentra en el Banco mirando hacia la cara libre. Las filas se enumeran para la voladura. La fila uno deberá ser la más cercana a la cara libre y los tiros de ésta fila deberán ser iniciados primero. Los tiros a la derecha del PI serán los "derechos" y los tiros ubicados a la izquierda del PI serán los "izquierdos".

El Tagger le solicitará al usuario que especifique si está marcando los detonadores a la izquierda o a la derecha; solicitando posteriormente el número de fila, tiro y detonador.

El sistema se encuentra diseñado para tratar con detonadores que no están incluidos dentro del patrón; estos tiros fuera de secuencia son nombrados “Especiales” y son tratados como una clase diferente, otorgándoles una secuencia numérica y finalmente asignándoles retardos absolutos a través del Bench Box. Es importante que cuando se marque a éstos “Especiales” se especifique en la malla y plano de voladura la ubicación de cada uno de éstos, así como el número que se le ha asignado. Esto asegurará que los tiempos de retardo se asignen correctamente.

3.6.2. Conexión de Detonadores

Para testear la voladura a través del Tagger, los conectores de los detonadores deberán estar conectados al cable de conexión y disparo y de esta forma las conexiones del detonador y cable serán testeadas por el Tagger.

Los conectores del detonador no son sensibles a la polaridad y pueden ser conectados fácilmente al cable de conexión y disparo como se muestra a continuación:

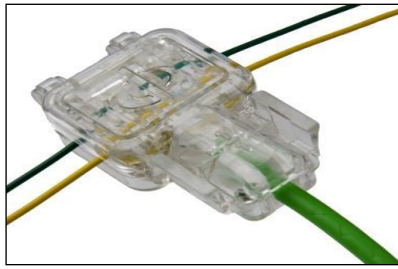


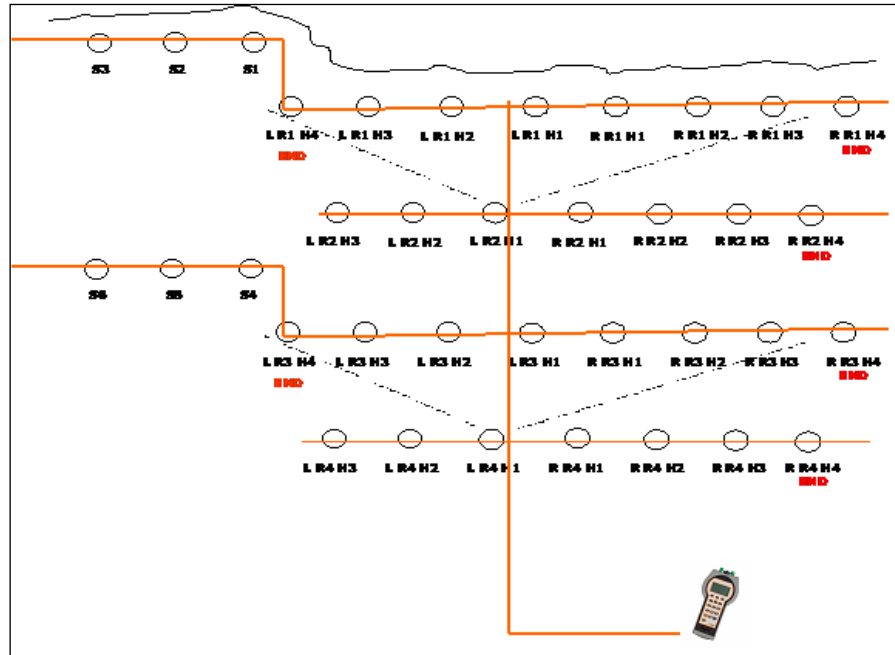
Ilustración 5.20

Se deberá recordar los puntos siguientes cuando conecte los detonadores al cable de conexión y disparo:

- Asegurarse que solamente sea conectado un cable por ranura para evitar cortes.
- Asegurarse que el conector esté bien cerrado alrededor del cable.
- No dejar el conector tendido en agua o cualquier otro líquido.

Es importante obedecer a los límites del sistema y por ello, no se permiten más de 2500 m metros de cable por canal. Esto incluye el cable de 2 vías desde el banco al Bench Box. Por lo tanto, puede ser más recomendable utilizar el esquema de espina de pescado, para minimizar la cantidad de cable utilizado para conectar la voladura.

Sin embargo, para simplificar la solución de problemas, se recomienda conectar cada fila a su propio cable de disparo y conexión. Lo anterior se explica de la siguiente manera:



No es necesario conectar los detonadores al cable de conexión en el orden de fuego de la voladura. Esto es, porque a los detonadores les fue asignada una ubicación por el Tagger y una vez que la voladura haya sido conectada al Bench Box, ésta asignará un tiempo de retardo a los detonadores.

Una vez que todos los detonadores hayan sido conectados al cable de disparo y conexión, la configuración podrá ser verificada a través del Tagger conectando el cable de 2 vías al conector de 2 vías que se ubica en la parte superior del Tagger. El testeado con el Tagger podrá ser realizado en el banco, pues el uso del Tagger es inherentemente seguro.

3.6.3. Relación entre las Características de Conexión y Tiempo

Solamente el Bench Box puede asignar los tiempos de retardo a los detonadores durante la función de Programación.

El sistema DigiShot™ Plus ha sido diseñado para asignar tiempos de retardos tanto de manera manual como semi-automática y automática a través de Software para PC de DetNet. El asignar retardos manualmente a los detonadores es un procedimiento tedioso y que demanda mucho tiempo, por lo tanto es mejor y más eficiente asignar retardos de tiempo utilizando un incremento fijo especificado (asignando parámetros globales a la voladura).

Lo anterior puede realizarse desde el Bench Box de la siguiente manera:

- Configurar un incremento positivo entre tiros y entre filas. Empezando en cero y especificando un incremento positivo de 17 ms, los retardos se añadirán de la siguiente manera: 0, 17, 34 y así sucesivamente.
- Se puede configurar una diferencia de tiempo (espejo) entre el lado izquierdo y el derecho de la voladura.
- Se aplican retardos absolutos de manera individual a los detonadores especiales.

Se recomienda considerar los siguientes puntos al momento de diseñar cómo asignar una voladura:

- Es recomendable que el usuario aproveche la función de auto-incremento del Tagger para que todo lo que se necesite realizar, le permita al usuario desplazarse de un tiro al otro conectando el detonador y presionando “Enter” antes de desplazarse al siguiente tiro.
- El responsable de la voladura puede asignar tiempos de incremento o decrementos a tiros enumerados secuencialmente.

De todas maneras, los detonadores deberán ser marcados de una manera tal, que dicho procedimiento, así como la asignación de tiempos sea simple y fácil.

CAPÍTULO IV

APLICACIONES DE USO DE DIGISHOT PLUS

4.1. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN PARA EL CONTROL DE VIBRACIÓN EN VOLADURAS.

El sistema DigiShot™ Plus™ está diseñado para ser utilizado en operaciones de voladura superficial, pudiendo iniciar hasta 1800 detonadores. Para conocer los límites del sistema.

El sistema puede tratar distintas configuraciones de primado. El sistema puede tratar hasta 15 detonadores por tiro.

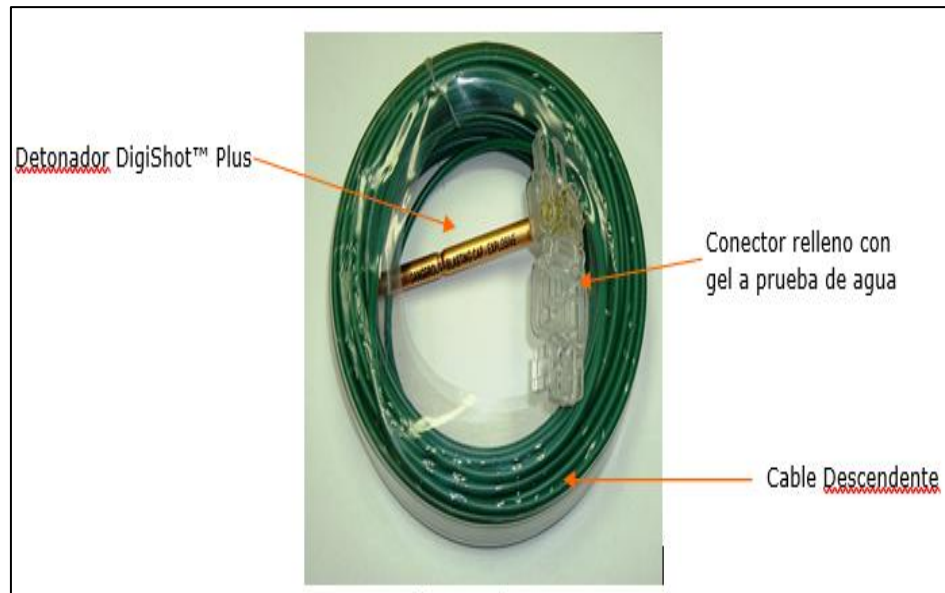
Las temperaturas recomendadas para las operaciones son las siguientes: Accesorios y detonadores, entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}/-40\text{ }^{\circ}\text{F}$ hasta $+70\text{ }^{\circ}\text{C}/158\text{ }^{\circ}\text{F}$; Equipos de Control = $-20\text{ }^{\circ}\text{C}/-4\text{ }^{\circ}\text{F}$ hasta $+50\text{ }^{\circ}\text{C}/122\text{ }^{\circ}\text{F}$. En aquellas operaciones donde la temperatura ambiental exceda este rango, el uso de equipos debe ser evitado.

4.1.1. Componentes del Sistema DigiShot™ Plus.

a) El Detonador DigiShot™ Plus

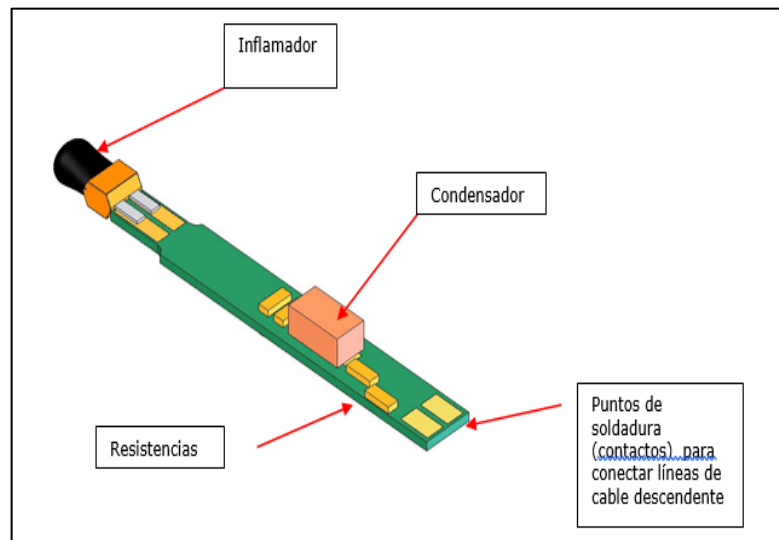
La función de los detonadores es iniciar la columna de explosivos de un tiro.

Sólo se podrá utilizar el equipo de control DigiShot™ Plus para marcar (asignar localización), testear e iniciar el detonador DigiShot™ Plus. El detonador se encuentra al interior de una cápsula de cobre que protege la placa de circuitos electrónicos y la carga explosiva y está unido a una línea descendente color verde. El otro extremo de la línea descendente de salida se encuentra unido al conector utilizado para sujetarlo al cable de conexión de superficie. El conector se encuentra relleno de un gel a prueba de agua que protege al sistema de toda fuga causada por humedad debido al ingreso de agua.



El detonador consiste en:

- Cable descendente de 2 vías
- Crimpado simple y doble
- Placa de Circuitos Integrados
- Inflamador
- H-Plug de Seguridad
- Capsula de Cobre
- Carga explosiva



El sistema hace uso de comunicación en 2-vías y el detonador no es sensible a la polaridad; la ilustración 2.2 muestra como es la Placa de circuitos integrados (PCB) del detonador ubicada dentro de la cápsula de cobre. Los componentes tienen las siguientes funciones:

- **Tapón de Crimpado:** Es un sello que este moldeado a la línea descendente y previene el ingreso de fluidos a la cápsula del detonador.
 - **La Placa de Circuitos Impresa (PCB):** Es un módulo electrónico que aloja componentes tales como las resistencias y el condensador.
- **Resistencias:** Protegen a los circuitos del detonador contra influencias externas como son:
- Sobre voltaje
 - Sobre corriente
 - Descargas Electroestáticas (ESD)
 - Pulso electromagnético (EMP)
- **Condensador:** El condensador es un dispositivo de almacenamiento de energía que mantiene la energía requerida para que el detonador funcione de manera independiente una vez que la señal de disparo haya sido transmitida.

- **Inflamador:** Es el dispositivo pirotécnico que actúa como interfaz entre la parte electrónica y la carga de base explosiva del detonador.

- **H-Plug de Seguridad:** Es utilizado para centralizar la PCB, separar la carga explosiva de los componentes electrónicos, previniendo su migración a los circuitos. El material del H-Plug de seguridad es antiestático y tiene incorporado en su exterior un anillo limpiador. La función de ésta última es limpiar la parte interna de la cápsula del detonador de cualquier carga explosiva remanente durante el ensamblado del detonador. Para fijar el H-Plug de seguridad y para que el PCB permanezca centralizado, se realiza un segundo crimpado en la parte central externa del detonador.

b) Tagger DigiShot™ Plus.

El Tagger DigiShot™ Plus es utilizado en el banco para:

- Marcar al detonador asignándole una ubicación dentro de la malla de voladura;
- Marcar “detonadores fuera del patrón” especiales;
- Testear individualmente detonadores DigiShot™ Plus;
- Testear líneas de detonadores conectados;
- Ver la lista de ubicaciones de los detonadores marcados;
- Testear fugas dentro de la instalación;

- Revisar detonadores no marcados dentro de la malla de disparo;

El Tagger tiene un conector de 4-vías al cual se le puede conectar sólo un detonador a la vez durante el proceso de marcado.

El Tagger tiene un conector de 2-vías donde se sujeta el cable de disparo de la malla durante el testeo de la voladura.

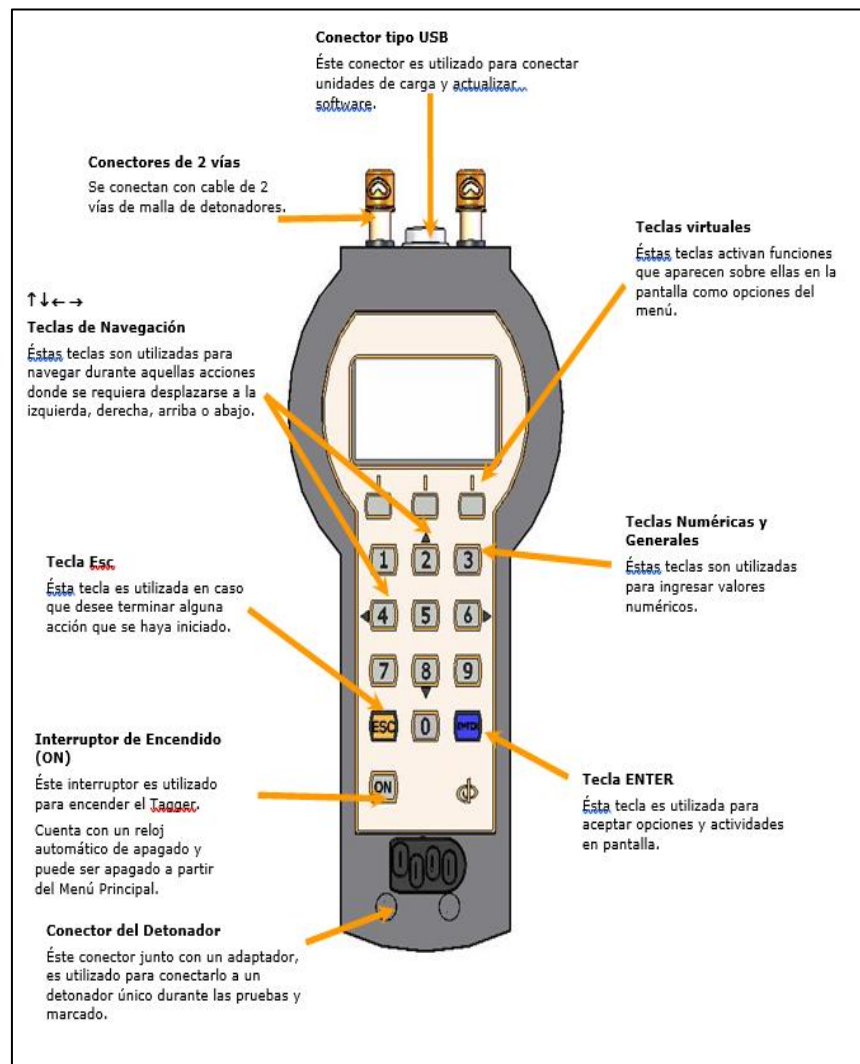
Para establecer comunicación con algún otro dispositivo, el Tagger tiene entrada para un conector tipo USB. A través de éste conector, el Tagger puede ser reprogramado o pueden realizarse actualizaciones de software. La recarga puede también realizarse a través de éste conector en caso que se utilicen baterías recargables.

El teclado de los Tagger es similar al de un teléfono celular. Cuenta con un teclado numérico con flechas de navegación. Las teclas virtuales se encuentran en la parte inferior de la pantalla a través de las cuales se pueden realizar selecciones de menú.

- **Batería.-** El Tagger es compatible con baterías recargables de 9 voltios (ej: NimH y Nicad) o con baterías ALCALINAS no recargables.

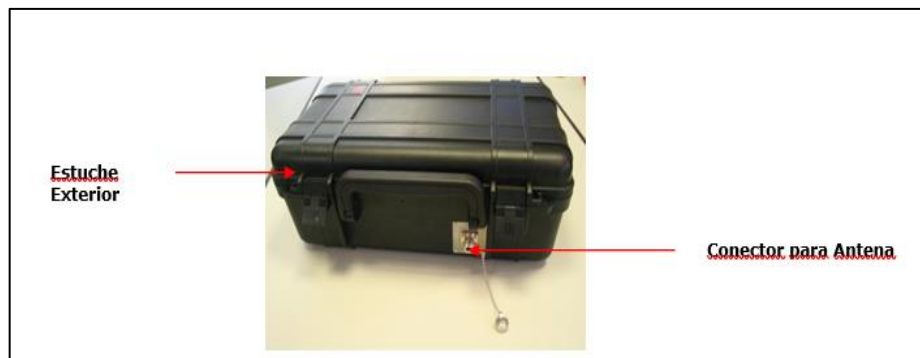
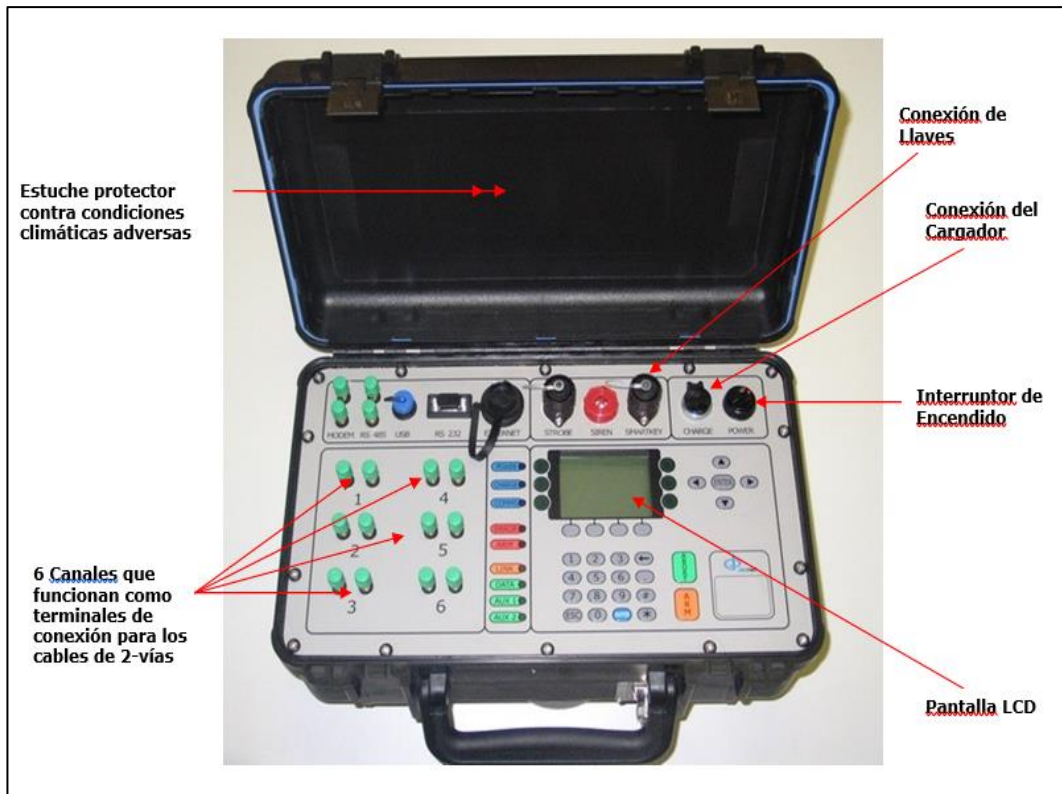
La potencia de salida es de 9 voltios, lo cual hace al dispositivo inherentemente seguro. (no puede iniciar un detonador).

○ Teclado del Tagger y Funcionalidad Básica



○ Bench Box/Estación Base DigiShot™ Plus

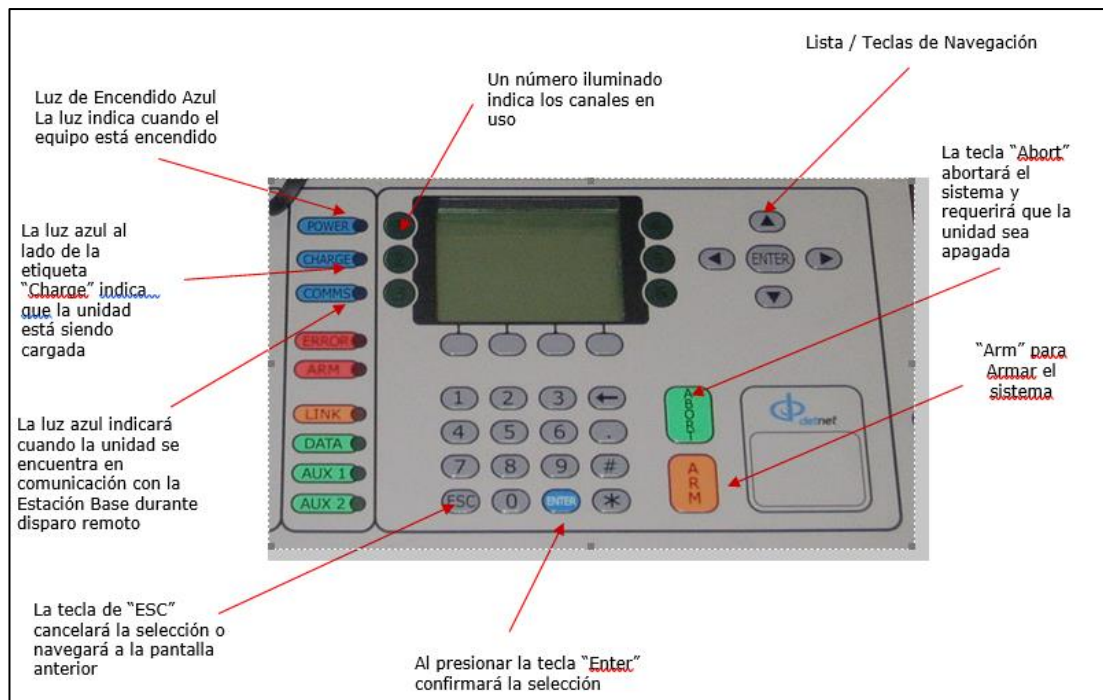
Externamente, El Bench Box y Estación Base son idénticas, salvo que difieren con respecto al software instalado en ellas. El Bench Box tiene seis canales; cada uno con capacidad para iniciar 300 detonadores.



○ **Funciones del Bench Box DigiShot™ Plus**

- El Bench Box es la unidad de poder utilizada en conjunto con las llaves SmartKey para iniciar la voladura
- La unidad es usada para diseñar y testear el diseño de voladura, así como las conexiones de los detonadores
- Utilizado para establecer y asignar tiempos de retardo en el detonador

- Programa los detonadores
- Interfaz con equipo RF para disparo en modo remoto
- Arma los detonadores
- Inicia los detonadores



La unidad posee el voltaje requerido y es capaz de producir y enviar la señal requerida para iniciar la voladura.

- **Las Funciones de la Estación Base DigiShot™ Plus**
- La Estación Base es una interfaz con El Bench Box y permite al usuario iniciar una voladura a distancia utilizando radio frecuencia (RF) o a través de cable de 2 vías (cable de disparo y conexión).

- La Función de la Estación Base es armar e iniciar los detonadores a distancia a través de las Estaciones Base.
- Puede mantener comunicación inalámbrica hasta 3 km con línea de mira.

- **Capacidad**
 - El Bench Box puede iniciar hasta 1800 detonadores por voladura si se utiliza en Modo Independiente, con un máximo de 2500 m de cable de disparo y conexión conectado a cada canal.
 - El Bench Box en modo RF conectado a la Estación Base puede iniciar hasta 1800 detonadores por voladura, con 2500 m de cable de conexión y disparo de 2 vías por canal y con un máximo de 3 kilómetros con línea de mira entre las unidades en modo RF.
 - La Estación Base iniciará todos los detonadores que estén conectados al Bench Box.

- **SmartKeys DigiShot™ Plus**



- Existen dos llaves inteligentes SmartKeys coincidentes, la amarilla que es utilizada para activar El Bench Box y la roja que es utilizada para activar la Estación Base.
- Las Llaves Inteligentes SmartKeys permiten un enlace físico sin el cual el voltaje requerido para la voladura no puede ser enviado a los detonadores.
- Las llaves contienen dispositivos electrónicos que generan las señales de voladura requeridas y además permiten la comunicación entre los dispositivos.
- En caso que la voladura se realice desde El Bench Box y no desde la Estación Base, se requerirá solamente la llave roja para El Bench Box.
- En caso que la voladura se realice a través de RF, se requerirá que la llave amarilla sea insertada en el Bench Box para permitir la comunicación con la Estación Base. La llave roja deberá ser insertada en la Estación Base a partir de donde se iniciará la voladura.

- La Llave SmartKey roja contiene la codificación que emite los comandos de voladura y deberá ser utilizada en la unidad que emitirá la voladura.
- Las llaves son dispuestas en pares y están protegidas mediante contraseña.

4.1.2. El Rol de los Detonadores Electrónicos en la Industria de Fragmentación de Rocas.

La industria minera ha decidido, ahora más que nunca utilizar los avances tecnológicos en las actividades de los procesos mineros y en las de sus proveedores. La meta ha sido crear una mejora en la productividad, y en la eficiencia de sus funciones y procesamientos.

Respecto a la tecnología de los explosivos, estos han permanecido relativamente sin cambios durante este último período, siendo la receta estándar para la minería de superficie, por ejemplo, los tubos de choque (no eléctricos) cómo sistema de iniciación, y el granel cómo explosivo.

La introducción de los detonadores electrónicos a la minería y la capacidad de precisión de disparo que estos poseen, han proporcionado a la industria minera una herramienta de optimización para las voladuras, que antes no

estaba disponible con los sistemas pirotécnicos. Esto, ha proporcionado a los usuarios por primera vez, refinar los resultados de las voladuras para satisfacer las necesidades operacionales específicas o para superar restricciones en sus procesos. El resultado ha tenido significantes beneficios financieros y un mayor control sobre las principales funciones primarias /secundarias de la fragmentación de rocas. Este control ha optimizado la productividad y la eficiencia de los procesos mineros tales como carguío, transporte, molienda y procesamiento. Además del beneficio económico, la electrónica ha traído un mayor nivel de confianza a la voladura, posibilitando a los usuarios revisar la funcionalidad del sistema completo antes de disparar, ayudando de este modo la prevención de errores en la voladura y las consecuencias a partir de ahí.

4.2. Presentación de Resultados

4.2.1. Seguridad.

El proceso de diseño con el sistema DigiShot™ Plus™ es diferente, por lo tanto, una buena planificación de las voladuras y un adecuado control en terreno es esencial. Recuerde que las conexiones no se realizan necesariamente según la secuencia de salida de la voladura.

El dispositivo de testeo y marcado (Tagger), utilizado para revisar y resolver problemas en terreno, es inherentemente seguro y tiene una salida máxima de voltaje de 9 V en condiciones normales de operación.

Los detonadores son completamente testeables, a través de una comunicación de dos vías. La integridad del detonador, el cableado y los conectores pueden ser revisados por el sistema. Las conexiones mal hechas pueden ser aisladas y reparadas. Esto permite al Tagger asegurar la funcionalidad del sistema y minimizar los errores en los disparos.

El suministro de energía para iniciar las detonaciones está alojado dentro del dispositivo llamado Bench Box. Esta unidad se puede utilizar para testear la funcionalidad de los detonadores y es también capaz de iniciar las voladuras. Al testear los detonadores, el Bench Box funcionará con un alto nivel de seguridad. Esto significa que el testeo se puede realizar en terreno, pero no dentro del área de voladura. La voladura puede ser ejecutada desde el mismo Bench Box o desde una unidad remota, llamado Estación Base (Base Station). Cuando la voladura es realizada desde el mismo Bench Box (disparo local), ésta debe ser ubicada en un lugar seguro para las personas. Cuando la voladura es realizada desde la Estación Base, el Bench Box debe ser ubicado en un lugar

seguro, evitando así los daños que pudieran ocasionar las operaciones de voladura al equipo.

Para que la Estación Base pueda iniciar una voladura, se debe ejecutar una serie de acciones específicas y secuenciales:

- Se debe insertar una llave de disparo de color amarillo en el Bench Box y una contraseña. Esta llave debe estar siempre asegurada y en posesión del responsable de la voladura en el momento de la detonación.
- Para utilizar la Estación Base se deberá insertar una segunda llave de disparo de color rojo. Las dos llaves de disparo, tanto la de color amarillo como la roja, deben pertenecer al mismo set de llaves, para que pueda existir comunicación entre el Bench Box y la Estación Base. Si se utiliza la Estación Base, la llave de disparo de color rojo, también debe estar en poder del responsable de la voladura o en lugar seguro, hasta ser utilizado.

Los detonadores solo podrán ser iniciados siguiendo una secuencia de pasos en el equipo remoto de disparo Estación Base.

4.2.2. Resumen de los Beneficios.

- **Más Control:** Más control del impacto ambiental de tronaduras (ej. Vibración), apilado del material, carguío y rendimiento del

chancador, estabilidad talud, y otros beneficios operacionales son posibles con el sistema de iniciación electrónico DigiShot Plus.

- **Componentes mínimos en el banco simplifican el uso:** El conector del detonador electrónico DigiShot Plus, se engancha fácilmente en la malla de conexión de 2 vías en la superficie. No se necesitan más accesorios.
- **Conveniente:** Diseños de tronadura y tiempos pueden ser programados anticipadamente en el Bench Box del DigiShot Plus, o en el día de la tronadura, lo que sea más conveniente.
- **Tiempos de retardo automático o programable:** Rápida y simple auto-programación de los retardos ahorra tiempo y reduce errores cuando se compara con la asignación manual de detonadores individualmente. Es posible subir al equipo de control y disparo de DigiShot™ Plus, previo a la fecha de voladura, el diseño de la malla y los tiempos de retardo de todos los detonadores y descargar la información directamente a la malla de voladura el día del disparo utilizando el software de análisis y simulación de voladura ViewShot™ de DetNet, o con la aplicación Plan Talk.
- **Seguridad:** El equipo de control de DigiShot™ Plus, está protegido por contraseña y requiere de una llave SmartKey

DigiShot™ Plus antes que la señal codificada de disparo pueda ser enviada para iniciar la tronadura DigiShot Plus.

- **Tronadura Remota Inalámbrica:** La tronadura puede ser iniciada mediante conexión inalámbrica para disparos remotos.
- **Fácil de usar y rápido de desplegar:** Estructura del menú del software orientado a minimizar el tiempo de entrenamiento de un Usuario. El proceso de amarre es más rápido pues los tiempos de retardo se ingresan a distancia desde el Bench Box.

La conexión pozo a pozo es rápida y fácil, gracias a conectores grandes, robustos y resistentes al agua y agentes externos. Distintas personas pueden conectar diferentes secciones de la voladura al mismo tiempo.

- **Flexibilidad en el diseño de la voladura**
 - Programación exacta.
 - Los retardos pueden ser programados con una diferencia de hasta una milésima de segundo.
 - El sistema permite trabajar con tiros especiales.
 - El sistema puede tratar distintas configuraciones de primado y tiempos.
 - La programación individual de retardos, la auto-programación y la programación automática utilizando el software ViewShot™ de DetNet, para subir la información diseñada en un PC a los detonadores en la malla en el

banco a través del Bench Box, permiten al usuario final disponer de infinitas posibilidades de configuración de primado y tiempos.

- **Fácil de aprender:** Estructura del menú del software orientado a minimizar el tiempo de entrenamiento completo de un Usuario. El proceso de amarre es más rápido pues los tiempos de retardo se ingresan a distancia desde el Bench Box.

El sistema posee un concepto simple de conexión.

4.2.3. Tamaño de la Voladura y Límites del Equipo de Control

a) Número de Detonadores por Voladura

Cada Bench Box posee 6 canales a los cuales se puede conectar el cable de disparo. Cada canal es capaz de manejar hasta una cantidad de 300 detonadores, permitiendo al sistema manejar un máximo de 1800 detonantes. El sistema puede acomodar aplicaciones de decking de hasta 15 detonantes por tiro.

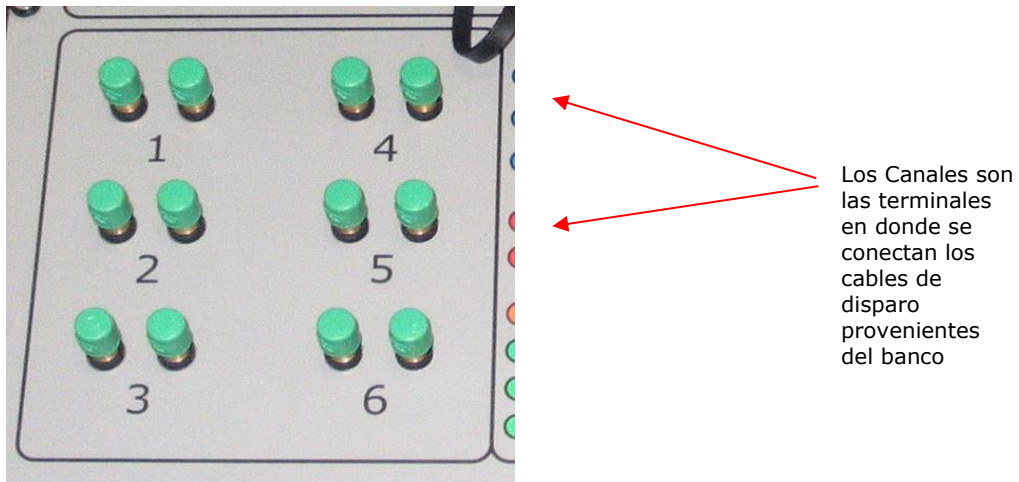


Ilustración 4.19

b) Cantidad de Especiales

El Bench Box/Estación de Base y software del Tagger son capaces de acomodar hasta 225 tiros fuera de patrón (Especiales) por voladura.

Límites en filas y tiros

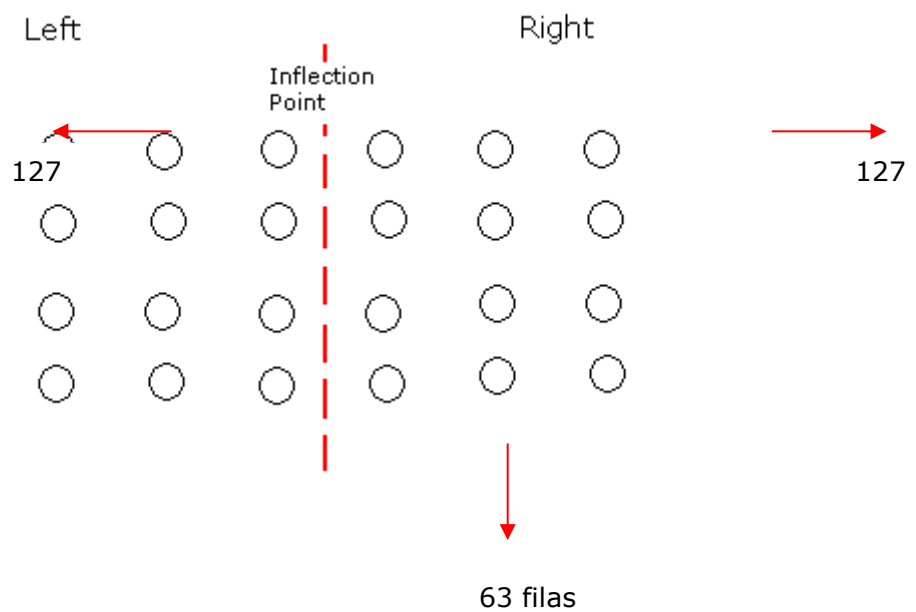


Ilustración 2.7 Límites en filas y tiros

La voladura está dividida en Izquierda y Derecha a partir del punto de inflexión. La fila 1 está ubicada más cerca de la cara libre. El sistema permite desplegar 127 tiros hacia cada lado (a la derecha e izquierda) desde el punto de inflexión y un total de 63 filas.

c) Límites de RF

La aplicación de RF hace uso del Bench Box y de la Estación Base los cuales se comunican entre sí a través de una señal RF. Para que estas unidades establezcan y mantengan comunicación, se requiere que se genere una línea de mira entre ambas unidades. Ésta línea de mira no podrá exceder los 3.5 km o de lo contrario la fuerza de la señal será demasiado débil y la comunicación será interrumpida o intermitente.

Además, cada una de las unidades deberá utilizar una antena omnidireccional. Las antenas son conectadas a cada una de las unidades y éstas deberán estar orientadas en la misma dirección. (Ambas tienen que estar colocadas verticalmente o ambas horizontalmente).

d) Límites del Cable de Conexión y Disparo de Voladura

Los detonadores se encuentran conectados a un cable de superficie, comúnmente conocido como el cable de Conexión y Disparo (Lead in Wire). Cada canal puede acomodar una longitud total de 2500 m y 300 detonadores.

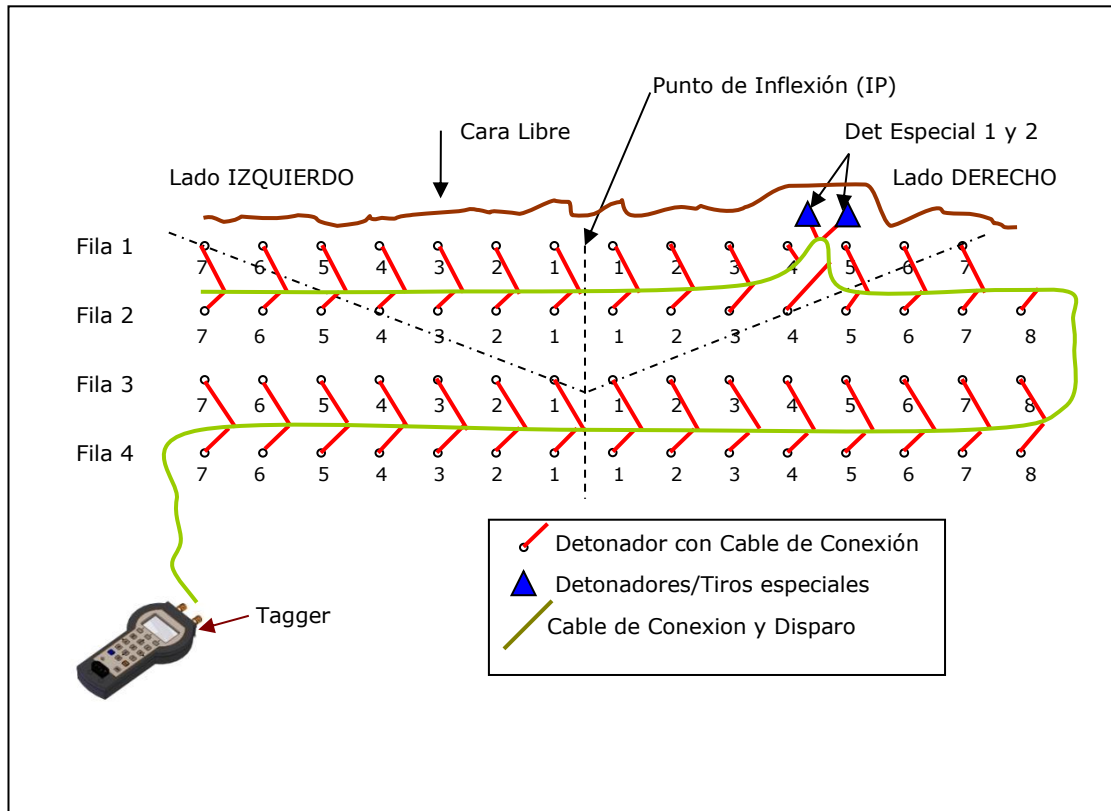


Ilustración 2.8

Los detonadores pueden ser conectados de cualquier manera, utilizando los conectores de 2-vías al cable de conexión y disparo. Los conectores no son sensibles a la polaridad.

La Ilustración 2.8 representa una configuración a manera de espina de pescado. La conexión de espina de pescado deberá ser aplicada solamente para minimizar la cantidad de

cable de conexión a utilizar. No se podrá desplegar más de 2500 m de cable por canal sin incrementar la “distancia eléctrica” al último detonador. Si las longitudes son excedidas, se pone en peligro la integridad de la voladura dado que la corriente enviada a través de la señal de disparo puede no ser lo suficientemente fuerte para alcanzar y cargar todos los detonadores y resultar en una detonación fallida con posibles tiros quedados.

e) Distancias del Cable Detonador

Actualmente, el máximo de distancia disponible para la línea descendente es de 75 m. Entre más larga sea la línea descendente, menor cantidad de detonadores y cable de conexión y disparo podrá ser acomodado por el sistema.

f) Máximos tiempos de retardo e Incrementos

Los detonadores podrán ser programados de 0 ms y con incrementos de 1 ms hasta un retardo máximo de 20 000 ms.

g) Límites de Temperatura

El siguiente cuadro indica los límites de temperatura aplicables para el sistema DigiShot™ Plus:

Detonador DigiShot™ Plus	-40°C / -40°F	+70°C / +158°F
Tagger DigiShot™ Plus	-10°C / +14°F	+50°C / +122°F
Bench Box/Estación Base	-10°C / +14°F	+50°C / +122°F

En caso de utilizarse un kit climático, la temperatura mínima a la cual se podrá exponer el Tagger aumentará a -20°C. El Tagger nunca deberá ser expuesto a luz solar directa por periodos extendidos de tiempo.

h) Vida de la Batería

La vida útil de la batería se encuentra influenciada por las condiciones a las cuales la unidad es operada. Cuando la batería esté descargada, el equipo emitirá una señal acústica y se apagará en caso de que la carga haya sido totalmente utilizada o alcance el voltaje mínimo requerido.

El Tagger se apagará automáticamente, emitiendo una señal acústica una vez que el nivel de voltaje alcance 6.9 V.

El Tagger puede recibir la carga de una batería alcalina de 9 V o de una batería recargable de 9 V.

El Bench Box y Estación Base contienen cada una, una batería recargable de 12 V. Las unidades deberán ser apagadas mientras la batería se encuentre cargando. La batería no se recargará si las unidades se encuentran encendidas.

Las unidades deberán recargarse por un periodo mínimo de 5 horas anterior a la voladura.

4.3. Prueba de Hipótesis

Según las características estructurales descritas antes y que están relacionadas a la mineralización en Atacocha, el contexto estructural pre-sin mineralización fue de la siguiente forma:

Alrededor de los 30 millones de años (Oligoceno), el contexto estructural fue definido por la falla Atacocha que presenta evidencias de corresponden a un sistema de fallas activas desde la formación de secuencias del Grupo Pucará, habiendo controlado la sedimentación del este grupo evidenciado por los cambios de grosores y facies de los carbonatos, Pucará tanto hacia el Este y Oeste de la falla Atacocha. También está manifestada por la presencia de las brechas chérticas a calcáreas sólo al Oeste de la falla Atacocha, en consecuencia las fases tectónicas Peruana e Incaica de 65 y 40 Ma. Configuraron el patrón estructural algo similar al actual en la que el bloque Este fue rígido y el bloque Oeste fue más activo con formación de pliegues y fallas, esto a consecuencia que el empuje fue del Oeste al Este formando pliegues simétricos a asimétricos con convergencia hacia el oeste en forma progresiva desde la Fase Peruana con suaves pliegues, luego aumentando el plegamiento en la Fase Incaica y definiendo suposición actual en las Fases Quechua. En el caso de Atacocha, la Falla 1, actuó como zona de debilidad corriendo casi paralelo al eje del sinclinal y a medida que ocurría el acortamiento los

estratos que estaban en posición normal por efecto de acortamiento se reducía el espacio llegando a colocarse en posición invertida, razón por lo cual se tiene el sinclinal seccionado aunque más que sinclinal constituye un zona de fallamiento y fracturamiento intenso y es la zona de debilidad por donde ascendieron los fluidos silíceos, brechas heterolíticas, fluidos mineralizantes, etc.

Los cuerpos intrusivos de 25 a 30 millones de años inician la historia del yacimiento de Atacocha los cuales se emplazaron con marcado control estructural porque constituyen un sistema de diques con dos direcciones de Norte-Sur y la otra Noroeste, las cuales son paralelas o son del sistema de las fallas-alimentadoras Atacocha.

Al final de las intrusiones se configura el patrón estructural principal del yacimiento Atacocha los cuales han gobernado el emplazamiento posterior del sistema silíceo y del sistema brechas “heterolíticas”, las cuales fueron reactivaciones de los patrones estructurales que controlaron el emplazamiento de los intrusivos indudablemente amoldándose a los espacios vacíos.

4.3.1. Alteración Hidrotermal y Procesos Metasomáticos

El emplazamiento de zonas mineralizadas tiene como guía, las alteraciones hidrotermales o los procesos metasomáticos, para el caso de Atacocha se ha detectado dos tipos de mineralización, uno es del tipo skarn y el otro es del tipo

hidrotermal, por las relaciones de campo, sucesión de eventos geológicos y secuencia paragenética, se ha determinado que el primer evento mineralizante fue el skarn y el segundo corresponde al hidrotermal.

4.3.2. Tipos de alteración hidrotermal y su relación de emplazamiento.

De acuerdo a lo observado en las labores mineras en ambas secciones se ha diferenciado dos tipos principales de alteración una está relacionada a skarn, habiendo desarrollado los siguientes ensambles: mármol, Sílice-Wollastonita, Skarn de granates, Sílice-skarn, Pirita-arcillas-skarn y la otra está asociada a Sílice-Sericita-Halloysita que corresponde al sistema hidrotermal habiéndose diferenciado las siguientes 2 fases mineralógicas una silíceo constituida por: Sílice Masiva, Brecha Silíceo, Sílice-skarn-clorita y Sílice terrosa y la otra fase es del sistema de brechas conformada por: Brecha Calcáreas, Brechas Heterolíticas, Brechas Monolíticas y Brechas Kársticas.

Los intrusivos son datados en 25 a 30 millones de años, la alteración de skarn corta dichos cuerpos de igual forma la mena asociada al metasomatismo está caracterizada por estrellas de esfalerita en calcopirita y las maclas de calcopirita en hojas de

laurel, indican alta temperatura coincidente con asociación a skarn.

El sistema silíceo bien sea masivo, brechoide, en flujo y terrosa corta al conjunto de metasomatismo (skarn), es más, se desarrolla un skarn asociado a la sílice que es posterior a la sílice, en las zonas de brecha silicea engloba fragmentos de mármol, skarnoides que indica que el sistema silíceo es posterior.

El sistema de brechas es el último evento de la mineralización en Atacocha esto es evidenciado porque los fragmento que constituyen dicha brecha son de caliza, mármol, sílice masiva, brecha silicea, skarn, lo que indica que fue posterior a los eventos citados.

4.3.3. Reducción de niveles de vibración del terreno por voladuras

Un excesivo nivel de vibración en una voladura de producción señala una sobrecarga o una inadecuada secuencia de tiempos de salida. Aunque cada caso requiere un análisis particular, se sugieren algunas medidas para aminorarlo:

1. Minimizar la carga de explosivo por unidad de microretardo:
 - a. Reduciendo el diámetro de perforación.
 - b. Acortando la longitud de los taladros.
 - c. Seccionando y espaciando las cargas dentro de los taladros, e iniciándolas en tiempos escalonados (decks).
 - d. Utilizando el mayor número de detonadores o tiempos de retardo posibles (con explosores secuenciales de microretardo si se supera la serie comercial de detonadores eléctricos o no eléctricos disponibles, esto naturalmente en voladuras con gran número de taladros o con muchas cargas espaciadas).
2. Reducir el número de taladros con detonadores instantáneos, ya que éstos producen más impacto.
3. Elegir un tiempo de retardo entre barrenos y filas efectivas que evite una fuerte superposición de ondas y permita un buen desplazamiento de la roca disparada.
4. Disponer la secuencia de iniciación de modo que ésta progrese desde el extremo más próximo a la estructura a proteger alejándose de la misma.
5. Utilizar el consumo específico adecuado, ya que un consumo excesivo da lugar a una sobrecarga innecesaria acompañada de grandes efectos perturbadores.
6. Disponer el esquema de taladros con una relación " $H/B > 2$ ".

7. Controlar la perforación para que las mallas reales coincidan con las nominales.
8. Emplear sobreperforaciones con las longitudes mínimas necesarias para un buen arranque.
9. Disponer los frentes con la mayor superficie libre posible.
10. Crear pantallas o discontinuidades entre las estructuras a proteger y las voladuras, por ejemplo con una cortina de taladros de precorte.

4.3.4. Análisis de los Daños Originados por la Voladura de Rocas:

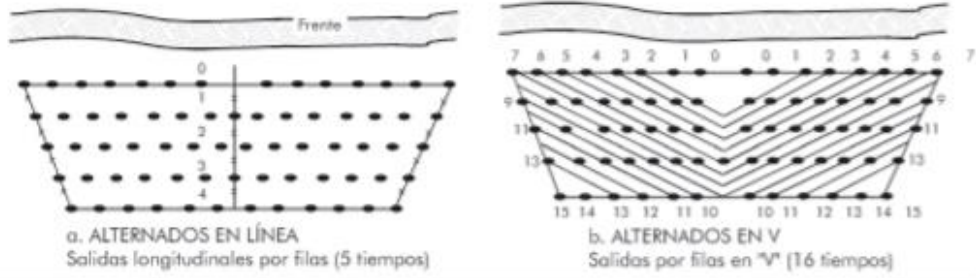
Hoy en día el control de los efectos adversos de vibraciones causadas en la Ingeniería Civil y Minera, se logra mediante el acatamiento de los niveles sugeridos en las normas específicas, así como mediante el diseño y manejo apropiado de los respectivos equipos y procesos causantes de las vibraciones. Por ejemplo los niveles de vibración causados por voladuras se pueden reducir mediante la limitación de las cargas o secuenciando las voladuras de tal forma que la energía transmitida al suelo sea distribuida en el tiempo, lo cual disminuye las velocidades máximas de vibración. Hoy en día hay técnicas aún más sofisticadas, que mediante una secuenciación muy controlada (y previamente diseñada) logran

fenómenos de interferencia destructiva y directividad en el campo de ondas generado por la voladura.

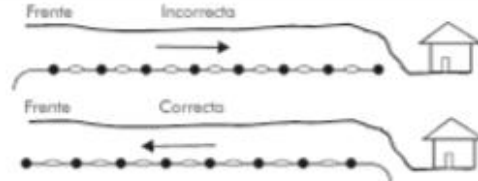
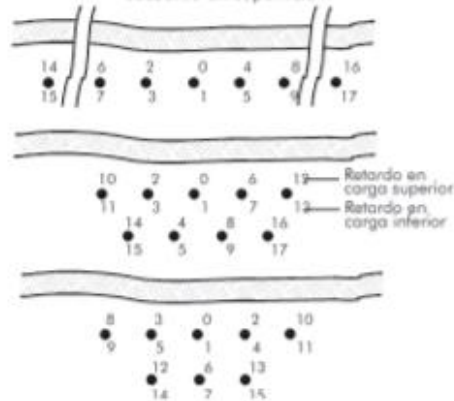
Los valores máximos de velocidades de partícula permitidos o recomendados varían de una norma a otra. Quizás el valor indicativo que más se ha implantado es el de 2 pulg/s (50.8 mm/s), que se fundamenta en voluminosas observaciones de Langefors y Kihlström (Bollinger, 1980; Persson et al., 1994), quienes en 1963 establecieron, para diversos tipos de suelos, valores de la velocidad de partícula pico y sus efectos asociados.

Por otro lado, es importante evaluar las vibraciones en 3 direcciones ortogonales (como algunas normas lo exigen), con el fin de observar asimetría de radiación en las voladuras, propiedades de los diferentes tipos de onda generadas, así como observar particularidades de la transmisión de ondas elásticas en el suelo.

EJEMPLO DE VOLADURAS MÚLTIPLES CON EL MISMO NÚMERO DE TALADROS (70)



Voladuras con cargas seccionadas dentro de los taladros (dos cargas separadas y retardadas entre sí) además de que cada taladro sale en orden secuente en superficie



Sentido de las secuencias de encendido en relación a la estructura a proteger

Como referencia para limitar los efectos de vibración y proyección en disparos junto a propiedades se sugiere las siguientes distancias por máxima carga explosiva por retardo.

Distancia a la estructura (m)	Máxima carga por retardo (kg)
1	0,05
5	0,9
7	1,5
10	2,5
15	4,5
20	7,0
25	10,0
30	13,0

CONCLUSIONES

El uso del Sistema DigiShot™ Plus™, brinda los siguientes resultados:

- 1- Facilidad de diseño de secuencia de salida de voladura, de acuerdo a los manuales establecidos en donde indican las secuencias a utilizar, para una óptima fragmentación y reducción de daños a causa de las vibraciones generadas por voladuras.
- 2- Facilita el entendimiento, interpretación y manejo del sistema.
- 3- Dependiendo de un buen diseño de secuencias de salida de los detonadores, minimiza las vibraciones, protegiendo daños a los taludes y las poblaciones aledañas.
- 4- El resultado de una buena fragmentación de rocas, hace posible la optimización de los procesos productivos y reduce los costos de operación (Carguío, transporte, chancado y molienda).
- 5- Reduce los conflictos sociales con las comunidades aledañas, ya que es posible controlar la generación de vibraciones excesivas que causan daños a las viviendas aledañas a las operaciones mineras.

RECOMENDACIONES

En toda explotación de yacimientos mineros, es recomendable implementar el uso del sistema electrónico DigiShot™ Plus™, en voladuras subterráneas y a cielo abierto, debido a que brinda mayor seguridad, confiabilidad, estabilidad, rentabilidad y minimiza los conflictos sociales con las comunidades aledañas.

La utilización del sistema electrónico, es de fácil entendimiento e interpretación, así como de la capacidad de precisión de disparo que estos poseen.

Ofrece al usuario la capacidad de iniciar grandes voladuras por medios de control remoto, alejados hasta 3.5 Km de distancia ofreciendo así la seguridad requerida de los colaboradores en dicho proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- Reglamento de Seguridad e Higiene Minera – SD 024-2016-EM.
- Manual de Mineralogía, Dana – Hurlbut, Editorial Reverté S.A., México, 1970.
- Manual de Perforación y voladura, Carlos López Jimeno
- Curso de Mineralogía, Betejin – Editorial MIR Moscú 1970.
- El Ingeniero de Minas N° 8, Revista del capítulo de Ingeniero de Minas del CIP, marzo 1997.
- Industrial Minerals 1994 – Revista mining Engineering, junio 1995.
- Administración moderna de la seguridad y control de pérdidas, Det Norske Veritas, USA Inc. 1998.
- Departamento de Seguridad y Salud Ocupacional, IESA S.A.A. – Volcan SAC – Andaychagua.
- Reglamento de Seguridad e higiene Minera, D.S. 024-EM (2016).

- Gestión de calidad – Prof. Luis A. De la Torre.
- Manuales sobre control de pérdidas.
- Seguridad y Control de pérdidas en minería, Edgar Briceño Z.
- Seguridad industrial y salud, C. Ray Asfahl, cuarta edición.
- Manual de shotcrete, Centro de Formación Técnica Minera – UNI, Ing. Marco A. Flores O. Lima, 2006.
- Manual Práctico de Voladura – EXSA.
- Guía Explosiva FAMESA.
- Perforación, voladura y Ventilación en Minería subterránea, Ing. Daniel Arcos Valverde
- Operación de Voladura Subterránea, Ing. Anibal Villagaray M.
- Mine Investment Analysis, SME-AIME, . Gentry, D.W. & O’Nealt J. New York, 1998.

ANEXOS

Data Time: Mil at 07:58:22 September 30, 2018
 Trigger Source: Geo: 0.510 mm/s, Mic: 100 dB(L)
 Range: Geo: 254 mm/s
 Record Time: 4.8 sec at 1024 sps
 Job Number: 313

Serial Number: BE20805V 10/728.17 MiniMote Plus
 Battery Level: 60 Volts
 Unit Calibration: May 22, 2018 by Geolstruments
 File Name: _TEMP.EVT

NOISE
 Location: San Juan de Milla
 Client: Compa la Minera Atacocha
 User Name: PFWOCEK - Tajo San Gonzalo
 Operator: Gboy Robi

Microphone: Linear Weighting
 PDPL: 195.0 dB(L) 0.75 ps(L) at 0.757 sec
 20 Freq: 0.0 Hz
 Channel Test: Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 564 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.127	0.127	0.127	mm/s
PPV (Peakated)	0.0002	0.134	0.0606	mm/s
spv	33.1	33.1	33.1	dB
20 Freq	>100	N/A	>100	Hz
Time (Rel. to Trip)	-0.229	-0.250	-0.470	sec
Peak Acceleration	0.0433	0.0433	0.0153	g
Peak Displacement	0.0	0.0	0.0	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.5	7.6	7.4	Hz
Overwing Ratio	4.0	4.0	4.0	

Peak Vector Sum: 0.220 mm/s at 1.294 sec
 WA: NotApplicable

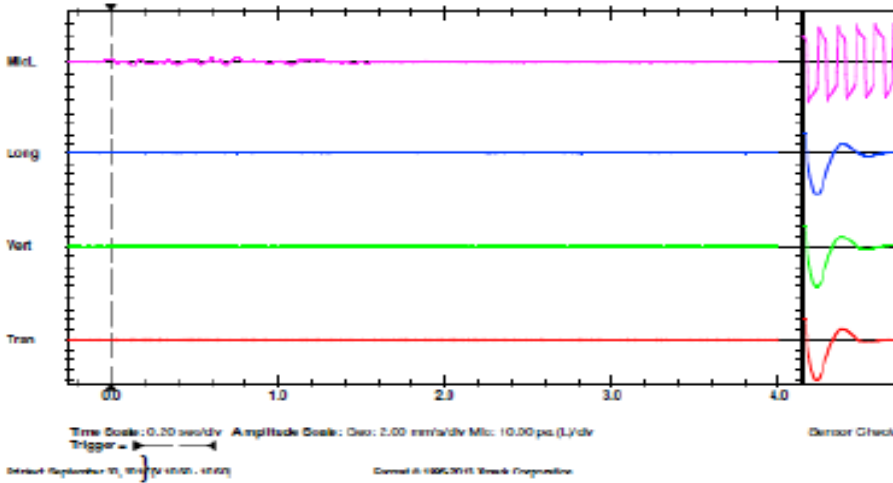
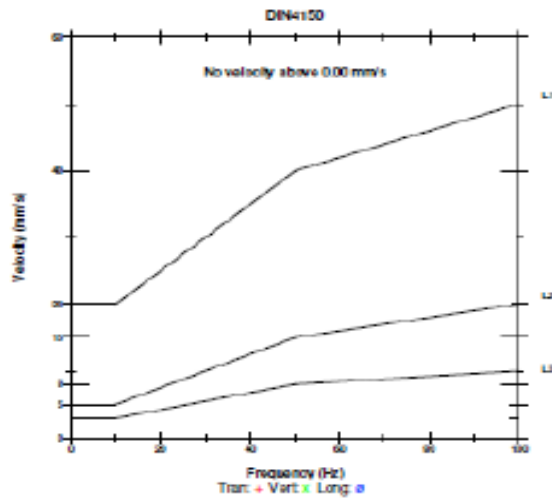


Fig. 01

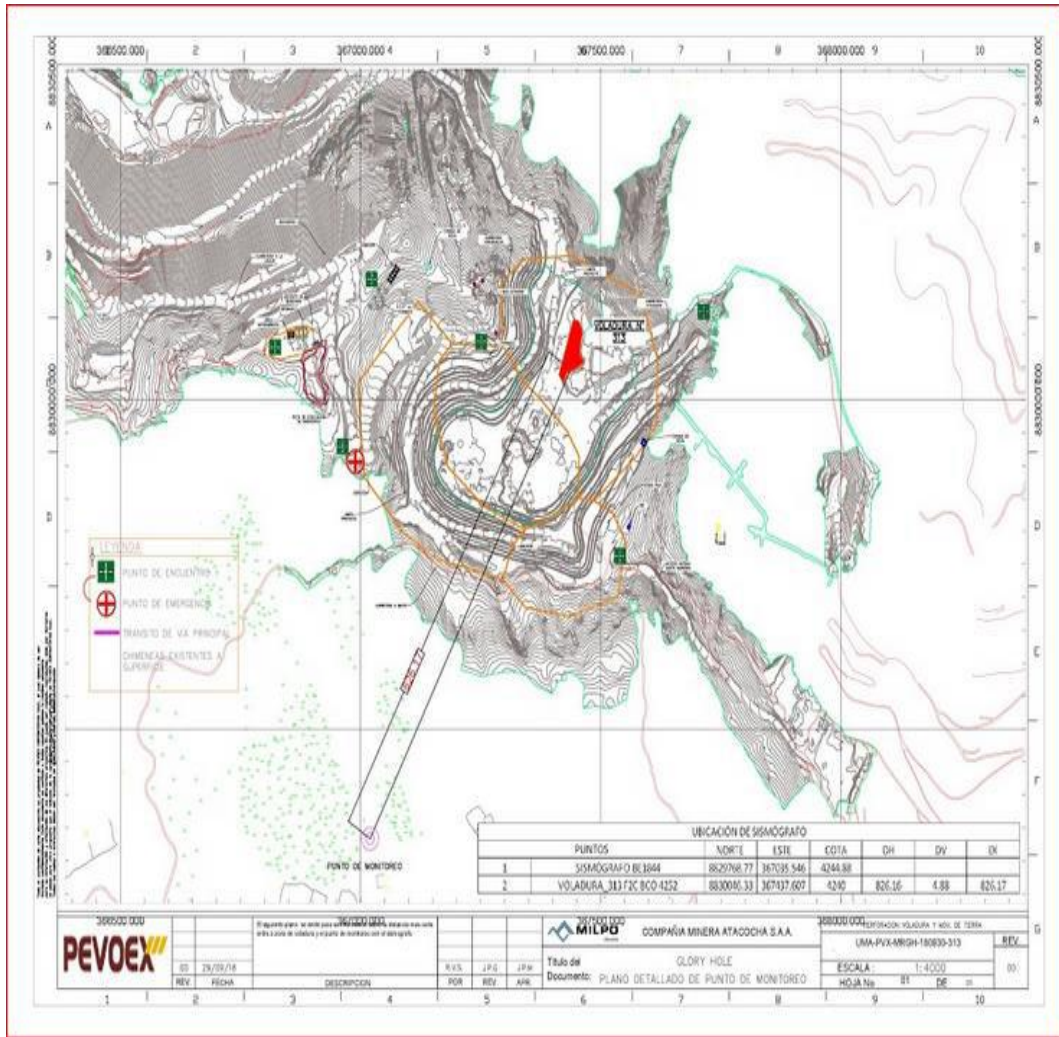


Fig. 02



Fig. 03



Fig. 04

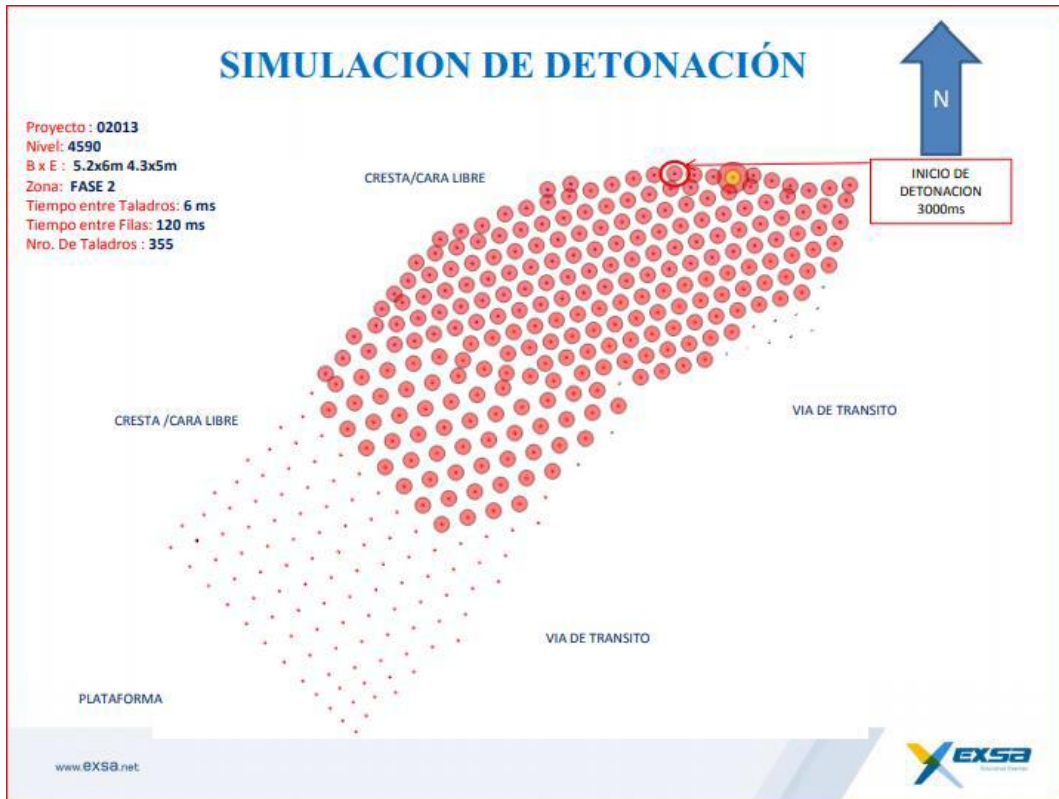
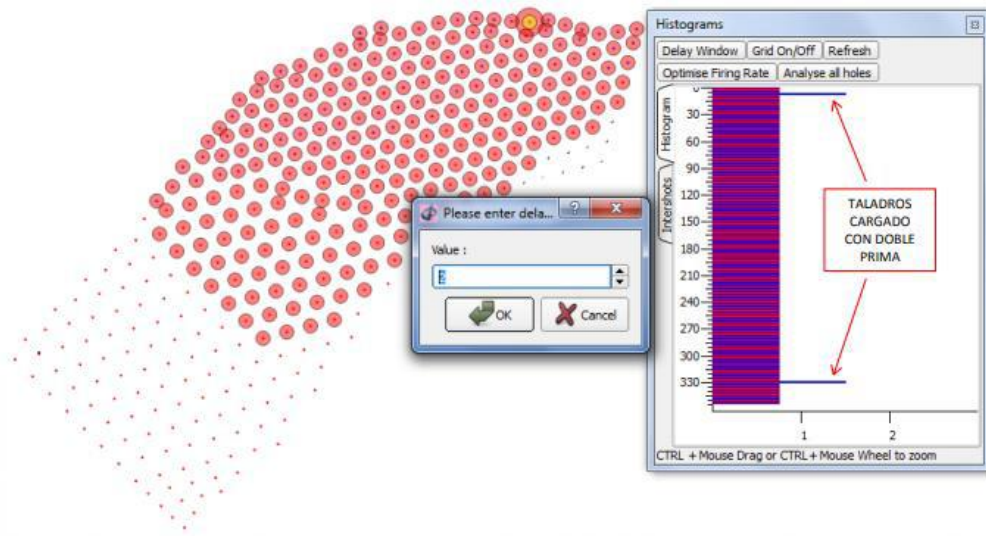


Fig. 05

ANALISIS DE ACOPLES



La detonación es taladro a taladro, no hay acoples en los taladros de producción en una ventana de 2ms.

www.EXSA.net



Fig. 06

POST VOLADURA



Se evidencia buena fragmentación con un esponjamiento promedio de 8m.

www.EXSA.net



Fig.07