

## MÉTODOS Y TÉCNICAS DE VOLADURA EN ROCAS DEL YACIMIENTO PUEBLO VIEJO

Roberto Francisco Marte Reinoso  
Roque Sierra Carbajal  
Joel Muñoz Salazar

### Resumen

*El objetivo de la presente investigación es evaluar todos los métodos y técnicas de voladura en rocas utilizadas en el yacimiento Pueblo Viejo. Para hacer posible esto se hizo un levantamiento geológico, estructural e hidrogeológico, de los datos de control de dilución del departamento de geología, se identificó los tipos de diseños, se evaluó resultados, valorar todos los costos y comprobar cumplimiento de procedimientos. Como variables estudiadas en esta investigación están datos geológicos, estructurales e hidrogeológicos, control de dilución, planificación minera, factores de diseño de la voladura, resultados de la voladura, costo de voladura y seguridad en las voladuras. El diseño que se utilizó en esta investigación es el no experimental con un enfoque cuantitativo. El tipo de investigación es exploratorio y descriptivo. La técnica e instrumento fue la observación mediante la utilización de una ficha de observación para hacer las anotaciones de campo para llegar a los análisis de los resultados. Esta ficha fue evaluada y aprobada por mano de expertos del mundo de los explosivos, la geología e ingeniería de mina. Las varia-*

*bles geología, estructuras e hidrogeología, así como control de dilución son tomadas en cuenta individualmente previa al diseño de la voladura. Los factores de diseño presentan variabilidad en los patrones, mas no para las recetas explosivas y que los mismos son amarrados de forma simple para la generación del movimiento debido a las condiciones favorable del terreno. El indicador calidad de taco es inadecuado dentro del proceso de voladura. Las planificaciones conforme a las voladuras son ejecutadas de acuerdo a las prioridades de ultimo momentos, las disponibilidad de equipo y personal más otros factores externos que incida en el cambio, atraso y /o adelantos de las voladuras contenida en el plan semanal. Como parte de la evaluación de los resultados se identifican posibles TQs y rompimiento trasero, dirección del movimiento y fragmentos, la forma de pila y nivel de piso post voladura, de igual forma los protocolos por parte de la seguridad preventiva y patrimonial son eficiente no deja fuera ningún indicador que pudiese ser de importación.*

**Palabras Claves:** Voladura en Rocas del Yacimiento, levantamiento geológico, dinamitas gelatinosas, minas a cielo abierto, piso post voladura, hidrogeología, temperatura de pozo, dosificación de explosivo, asesli-tologías, fallas significativas, foliaciones, alteración de la roca, dirección de la voladura, reporte de vibraciones, seguridad perimetral, fragmentación, control de dilución.

## ABSTRACT

The objective of the present investigation is to evaluate all methods and techniques of rock blasting used in the Pueblo Viejo field. To make possible this, a geological, structural and hydrogeological survey

of the geology department's dilution control data was done, the types of designs were identified, results were evaluated, all costs were assessed and compliance was checked. As variables studied in this research are geological, structural and hydrogeological data, dilution control, mining planning, blasting design factors, blast results, cost of blasting and safety in blasting. The design that was used in this research is the non-experimental one with a quantitative approach. The type of research is exploratory and descriptive. The technique and instrument was the observation through the use of an observation sheet to make the field annotations to arrive at the analysis of the results. This sheet was evaluated and approved by expert hand of the world of explosives, geology and mine engineering. Variables geology, structures and hydrogeology as well as dilution control are taken into account individually prior to blasting design. The design factors present variability in the patterns, but not for the explosive recipes and that they are simply tied for the generation of movement due to the favorable conditions of the terrain. The taco quality indicator is inadequate within the blasting process. Blasting schedules are executed according to the priorities of last moments, the availability of equipment and personnel plus other external factors that affect the change, delay and / or breakthroughs contained in the weekly plan. As part of the evaluation of the results are identified possible TQs and rear rupture, direction of movement and fragments, pile form and level of post blasting floor, likewise the protocols by the preventive and patrimonial security are efficient does not leave Outside any indicator that could be of import.

**Keywords:** Blasting in rock deposits, geological survey, gelatinous dynamite, open pit mines, post blast floor, hydrogeology, well temperature, explosive dosage, aseslitologies, significant faults, foliations, rock alteration, direction of blasting, Vibration reporting, perimeter security, fragmentation, dilution control.

## INTRODUCCIÓN

Los explosivos comerciales empleados en minería, construcción civil, construcción de túneles y otras aplicaciones específicas similares han ejercido una enorme influencia en la historia del mundo. Una buena parte del progreso que se ha dado en el estándar de vida del ser humano común y corriente, se puede relacionar de alguna manera a los resultados obtenidos a través del empleo de explosivos en las obras de infraestructura (caminos, túneles, redes de abastecimiento de agua, vías férreas y otros) los cuales habría sido imposible desarrollar sin la ayuda de los explosivos. (ISEE, 2008).

El uso de explosivos en minería y construcción data de 1627. Desde esta fecha 1865, el explosivo utilizado era la pólvora negra; este es un explosivo muy diferente a los que se utilizan hoy en día. En 1865 Alfredo Nobel inventó, en Suecia, la dinamita sobre la base de la nitroglicerina. (Konya, 1998). Más tarde, en 1866, inventó las dinamitas gelatinosas. Estos nuevos productos eran más energéticos que la pólvora negra y se utilizaban de diferente manera, ya que no había necesidad de confinar el explosivo para obtener buenos resultados, como en el caso de la pólvora negra. Desde 1867 hasta la mitad de los años 1950, la dinamita se convirtió en el caballo de batalla de la industria de los explosivos. (Ibídem).

A mitad de los años 50, apareció en el mercado un nuevo producto llamado ANFO (AmmoniumNitrate - Fuel oil), nitrato de amonio y diesel. Este producto es 2 mucho más económico que la dinamita y hoy en día es la base de la industria de explosivos a nivel mundial, ya que aproximadamente el 80% del explosivo utilizado es ANFO (Konya, 1998). Los nuevos explosivos que aparecieron en escena durante las décadas de 1960 y 1970, llamados suspensiones o hidrogeles han reemplazado a la dinamita en casi todos los campos de aplicación. A finales de los años 70, se obtuvo una variante de los hidrogeles llamados emulsiones, que salieron al mercado. Estas emulsiones son simples de fabricar y se pueden aplicar de igual manera que los hidrogeles. (Ibídem).

Los explosivos comerciales actualmente se dividen en tres grandes categorías: iniciadores, altos explosivos y agentes de voladuras. (Ibídem). En los antecedentes académicos se conoce que el yacimiento Monte Negro, Moore y Monte Oculto está estructurado por alto contenido de sílice, azufre y pirita condición esta que hace las rocas más densas y por consiguientes este sitio necesitó de diseños de voladuras más enfocados en obtener una adecuada fragmentación de las técnicas de voladuras empleadas, deben ser específicas a la dureza de la rocas y la demás condiciones presentada por el banco perforado. (Castellanos, 2016).

Otro estudio realizado en el Instituto tecnológico Bombay, Powai, Mubai en la india se encontró que: Badal Kumar Kujur realizo el estudio “Vibraciones en minas a cielo abierto”, llegando a las siguientes conclusiones: Se realizaron diferentes análisis de datos de vibración (VPP) de varias voladuras. Se encontró que

la VPP (velocidad de detonación), para las 3 diferentes voladuras varía en relación a la cantidad de carga por retardo asociada por la voladura. Los resultados muestran estos límites en la tabla 1 y 2. Colocar una determinada cantidad de carga por retardo podría ser determinante en un pozo de voladura para mantener la VPP y la sobre presión de aire generada por la voladura en los límites determinados por la DGMS. La tabla 6 muestra las cantidades de carga por retardo recomendada de forma segura para mantener los niveles de vibración bajo los límites (5 mm/seg). Los niveles de vibración encontrados fueron 5 mm/seg que son los límites, cuando la cantidad de carga recomendada por retardo son usada en la voladura, los valores de sobre presión de aire grabado fueron entre 114 y 127.6 dB, como se debe mantener en los límites de forma segura.

## METODOLOGÍA

Una vez abierto este nuevo capítulo sobre la metodología que se usó, se ha de saber que los objetivos propuestos para el desarrollo de esta investigación solo pudieron ser cumplidos mediante la realización del trabajo de campo, y la manipulación de los datos obtenidos. En esta parte se describe el diseño y el tipo de estudio, la población a la que se va a atender, los instrumentos: validez y confiabilidad y los procedimientos que se realizarán apegado al cronograma de actividades. Todo esto con el fin de presentar los datos con la mayor coherencia posible y así dar las respuestas correspondientes a las preguntas planteada en esta investigación.

## **Diseño, enfoque y tipo de investigación**

Para esta tesis el diseño de investigación, el cual se ha optado es el no experimental, pues las observaciones de campo se limitaron al objeto de estudio, en donde las variables y otros efectos no modifican su contenido. Según Hernández (2006), el diseño no experimental es cualquier investigación que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable, es por ello que este diseño de investigación es el que mejor se adapta al trabajo de investigación presente.

Con respecto al enfoque para esta investigación se ha considerado como cuantitativo de acuerdo con Hernández et al., (2006) dice, que este enfoque utiliza la recolección de datos para tratar de probar una hipótesis con base en la medición numérica y análisis estadístico y a su vez establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Este enfoque tiene como objetivo explicar los fenómenos físicos, por 33 interesarse en las causas que los originan (principio de verificación) y apoyarse en técnicas estadísticas para el procesamiento de la información, la cual obtiene a través de métodos empíricos. (Aguilar Herrera, 2013).

Siguiendo con el tipo de investigación para esta tesis se ha seleccionado la exploratoria y descriptiva respectivamente, atendiendo a la primera, Arias Odón (1999) establece: la investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o que se ha estudiado poco, por lo que no se logra tener con certeza los resultados sobre dicho objeto, es decir, que solo se adquiere un nivel superficial de conocimientos. También Hernández et al. (2006) identifica el segundo diciendo: “la investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y atributos im-

portantes de cualquier fenómeno que se analice". Describe tendencias de un grupo o población.

### **Técnicas e instrumentos de investigación**

La técnica más adecuada para este trabajo de investigación es la observación de acuerdo con la definición de Postic y De Ketele (1988) que dicen que es como una lectura lógica de las formas, ya que se establece una relación concreta e intensiva entre el investigador y el objeto observado con el propósito de obtener la mayor información posible sobre el área de estudio. Para toda técnica de investigación ha de seleccionarse un instrumento por el cual se puedan registrar los datos de manera confiable y aledera. Así que la fichas de observación ha sido las usadas mediante el llenado o cotejo de informaciones obtenidas en campo.

La estructura con la cual contó la ficha de observación fue en base a las variables propuestas, en esta considerada: el diseño de malla, dilución del mineral, profundidad, diámetro y temperatura de pozo, dosificación de explosivo, presencia de agua y aseslitologías, presencia de fallas significativas, foliaciones, alteración de la roca, dirección de la voladura, reporte de vibraciones, seguridad perimetral, fragmentación

de la roca después de volada y otras eventualidades de importancia en caso de presentarse y no estar contemplado en el instrumento.

Como una forma de comparar los resultados y eventualidades de la ficha de observación llenada durante el desarrollo de la voladura se asistió a las reuniones de evaluación de voladura del personal de mina y contratistas involucrados. Mediante una libreta

de trabajo se recogió todo lo abordado de más importancia y relevancia para la presente tesis.

### **Validez y confiabilidad del instrumento**

La elaboración del instrumento que se usó debe responder a los parámetros preestablecidos para cada una de los aspectos considerados en la ficha de observación con el fin de avalar la eficiencia y cumplir con los estándares más exigente por parte de las ramas ingenieriles relacionada al área que se va a estudiar. Para tal propósito la ficha fue revisada por mano de expertos del mundo de los explosivos, la voladura y la geología. Se entiende que involucrando estas grandes áreas del saber no quedó al margen ningún dato de importancia que no esté contenido en este instrumento.

Las pruebas pilotos para las fichas de observación no se consideró ser realizada puesto que para cada voladura los resultados son diferentes, y no es parte representativa del todo puesto que las condiciones ambientales del subsuelo tuvo un comportamiento desigual conforme a los avances en el plan de minado.

### **Población y muestra**

Debido a no tener un número significativo de muestra a la cual se le pudiesen realizar de manera independiente pruebas particulares atendiendo a cada variable en cuestión se ha determinado que la totalidad de las muestras fue la población a estudiar.

## **Reconocimiento de campo**

Una vez obtenidas todas las informaciones de interés para esta investigación se procedió a realizar visitas a campo en los diferentes open pits del yacimiento Pueblo Viejo, en dicha visita o reconocimiento de campo se identificó las zonas más adecuadas para la realización del estudio. Previa la obtención del plan semanal, el mismo va acorde a las planificaciones de largo y corto plazo, los cuales procuran los avances mineros y movimientos de rocas llevado a cabo por la empresa Pueblo Viejo Dominicana Corporations (PVDC).

## **Levantamiento de datos geológicos, estructurales e hidrogeológicos**

Para poder realizar esta tarea se partió de los datos previos de mapeo y los modelos geológicos realizados por la empresa, el cual sirvió de base para quienes sustentan esta investigación. La finalidad en general fue contar con mapas a detalle o escalas que acilitaron el trabajo y la comprensión total de las áreas de estudios. Los mapas generados fueron entendiendo a la litología, alteración, estructuras y de niveles piezómetro, los cuales muestran las características del subsuelo a ser volado. Estos se elaboraron mediante sistemas de Información Geográficos (Volcán, y ArcGis) contando con las últimas informaciones sobre el estado de los pits en el yacimiento Pueblo Viejo.

## **Litologías y alteración**

Se identificaron los diferentes materiales geológicos preestablecidos y clasificado por la empresa, fue con-

firmado por medio de muestra de mano hecha al tipo general de roca a que pertenecen. El yacimiento Pueblo Viejo presenta una clasificación grupal de rocas. El grado de alteración hidrotermal propio del yacimiento se obtiene a partir de la utilización de espectroscopia portátil PIMA, todos estos datos se generan mediante las perforaciones para exploración realizado por cada 2mts de profundidad. Mediante las visitas a campo se confirmó que los modelos litológicos y alteración coincide perfectamente con las muestras de manos recolectada de las áreas a volar.

### **Estructuras e hidrogeología**

En cuanto a las estructuras geológicas, esencialmente las fallas fueron levantadas, conforme a los datos del Departamento de Geotecnia en los pits Moore, Monte Negro 37 y Monte Oculto a escala 1:5,000. Otras como los niveles de fracturación, contactos y orientaciones preferenciales de la estratificaciones existentes fueron tomadas, esencialmente aquellas considerada de importancia y que pudieron afectar significativamente la voladura como son las fallas de más de 20 mts, la dirección de los estratos y foliaciones en taludes en frente a las mallas de voladuras, medidas conbrújulas Brunton y puntos GPS.

Los niveles piezómetros fueron suministrado por el Departamento de Hidrogeología, en donde se pudo identificar las aguas freáticas mediante pozos localizado en los diferentes pits. Estas mediciones son llevadas a cabo tomando en cuenta el procedimiento de medición de piezómetros y sondeos el cual muestra la metodología para la adecuada medición de los nive-

les freáticos en el área de la mina; en este se realizan las lecturas correspondientes de cada pozo luego la información obtenida es registrada en la base de datos habilitada para el monitoreo de piezómetros y pozos subterráneos y finalmente se interpretan los datos y se realiza un mapa piezométrico.

### **Control de dilución**

Actualmente Drill & Blast basa sus diseños para el control de dilución con un predictivo preliminar que se realiza en estimación de recursos por del Departamento de Geología. Una vez comparado el preliminar y el definitivo, se consideró tomar como base el predictivo final (polígonos con la distribución geométrica de leyes clasificadas). Se determinó que los movimientos realizados corresponden a favorecer la disposición final del material mineralizado para el control de dilución. Los datos que proporcionaron los polígonos son las clasificaciones atendiendo a sus leyes y lastonelas de rocas que lo contiene. La escala para esta representación de este mapa es de 1:1200. (Verfig.16). La mineralización es calculada mediante la estimación con avanzados software como Volcán que relaciona las leyes de acuerdo al pozo más cercano en una malla para la perforación de exploración de 15 X 10mts; separación por cada pozo. Durante el proceso de perforación son recolectadas las muestras cada 2mts y las mismas son enviadas a laboratorio, el cual idéntica los gramos de oro, plata, cobre, zinc, azufre y carbón. Todos estos datos son procesados dando como resultado polígonos caracterizados como alta (H1, H2), media (M1, M2, M3) y baja (L1, L2, L3) ley, además de lo que es considerado como Waste (W1, W2). Se verificaron las condiciones

del terreno, el cual se determinó tanto por los mapas topográficos como visita en campo si las mallas tenían cara libre o eran para voladura de apertura o zanjas, he independientemente de eso observar la factibilidad de moverlo a zona preferenciales.

### **Planificación minera**

Mina operaciones cuenta con dos departamentos que se dedican a la planificación de la mina, pues como tales están el departamento de planificación a largo plazo y el departamento de planificación a corto plazo. El departamento de Drill & Blast también realiza su planificación de voladuras en base a las planificaciones anteriores. Se comprobó la dependencia de estas planificaciones y la dinámica de trabajo en la ejecución, comunicación y proyección conforme a los avances mineros.

### **Factores diseño de voladura**

Drill & Blast realiza su diseño a partir de los polígonos de generales de los avance de minas, estos son llevado a sub polígonos, en los cuales son diseñadas las mallas de perforación para su posterior voladura. Generalmente una malla de voladura contiene un promedio de unos 100 pozos, el cual varía entre 60 y 200 pozos por malla. Mediante software como Vulcan para la realización del BlastPlan y ShotPlus para el amarre o timing ambos a escala entre 1:400-1:800. En un diseño de voladura la carga específica por detonador es necesario tomarla en cuenta, para reducir las vibraciones, adema el taco y material de taco, tamaño adecuado etc. recordando que el éxito de una voladura depende de

la perforación en un 70%, esta debe revisarse minuciosamente para que todos los factores de diseño puedan aplicarse de forma segura y así mantener resultados óptimos, esto ayuda a mantener estándares exigido por la empresa estos resultados son casi siempre comparados a nivel nacional o internacional.

### **Resultado y evaluación de voladura**

Los resultados de las voladuras se enmarcan en el contexto de post voladuras, en donde se evaluó la dimensión de los fragmentos de roca tomando en cuenta que a la trituradora de mineral deben de llegar fragmentos menores a 1m<sup>3</sup>. La medición de aquellos bloques de rocas más grandes se hizo en el campo, mediante la utilización de cita métrica para corroborar su dimensión. Mediante fotos con escala humanas se estimó el abultamiento o esponjamiento de la forma de pilas, así como la dirección resultante de acuerdo al amarre o timing y la posibilidad de rompimientos traseros.

Las vibraciones producidas por la explosión o detonación de la voladura, las cuales viajan a través de los diferentes materiales cercanos a la mina y fuera de estas en forma de ondas, se enfatizaron en las que causan un mayor daño como son las ondas superficiales. Se supervisó la puesta de sismógrafos dentro de las instalaciones de PVDC, como forma de monitorear los taludes, las presas de colas o infraestructuras cercanas, se analizaron los reportes obtenidos como son la intensidad de ondas, longitudes de onda, amplitud y duración. Una ficha de observación se llenó por cada voladura para dar respuesta a esta variable y todos sus

indicadores, en las cuales se asentaron las incidencias de las voladuras y post voladuras.

### **Costos de voladura**

Se ha calculado una parte importante de todas las muestra para obtener una referencia de los costos en base al explosivo usado, accesorios, material de taco y metro de perforación. Estos datos fueron comparados con un valor que indica el costo del material de mina que fue volado. Otros costos fueron considerados, pero por su complejidad o porque son datos confidenciales no pudieron ser reflejados dentro del cálculo, como es el costo de horas-hombres, contratos con empresas externas, custodias y técnicos y otros relacionados al costo total o real.

### **Seguridad en las voladuras**

Los aspectos de seguridad de voladura comprendido en el procedimiento de voladuras vigente que entre otro comprende los siguientes: planos de ubicación de las 42 voladuras, vías de accesos al perímetro de la voladura, ubicación de los puntos de loqueos, sistemas de comunicación, equipos, personas y materiales usados, reunión pre-voladura y post-voladura fueron evaluados para avalar el fiel su cumplimiento. Cabe mencionar que el tema de seguridad en las voladuras es un tema de alta importancia en la empresa, en vista que afecta a gran parte de la operación y participan los departamentos más importantes del proyecto. Por tal razón se ha de identificar debilidades que pueden ser mejoradas o reforzadas por quienes sustentan este estudio, si se presentase.

De acuerdo a las muestras procedentes en este depósito para la geología no hay muchas variaciones, pues en cuanto a la litología y a la alteración en la zona las rocas tanto en el modelo como los reconocimientos de campo coincide en que son LA, Cover y LA,0x ( Ver fig. 08). Sus alteraciones son Ch-III-Sm, Qtz-Al-DK y Qtz-Pyr-

Dk para Monte Oculto (Ver fig. 07). Para la parte hidrogeológica del depósito Monte Oculto fase A los datos de los niveles piezómetro recolectado en un pozo se encuentran perforaciones en el nivel 410 hacia el 400 y según la zona los niveles friáticos son inferiores al 380 por tal razón los barrenos perforados en este nivel no tienen agua freática. (Ver fig. 52).

Los polígonos delimitados para el control de dilución cuentan con diferentes leyes, las cuales son nombradas atendiendo a su clasificación (Ver foto 01). La ley de mineral en las mallas (Ver fig. 16 al 23) las geometrías de mineralizaciones varían en proporción y posición en toda la mallas siendo un total de 40057 Tns para H1, 43026Tns para M2, 4374Tns para M3, 121256Tn para L2, 30385Tn para L3, 12265Tn para W2.

### **Análisis de Resultados**

En este capítulo se presentan los análisis de los datos obtenidos en la investigación realizada, con el objetivo de evaluar los diferentes métodos y técnicas utilizadas en las voladuras realizadas en el yacimiento de Pueblo Viejo y así dar respuesta a las preguntas de investigación que se presentan en el planteamiento del problema. Para tales fines la reflexión se fundamentó en la ficha de observación para poder llegar a las conclusiones y recomendaciones.

## **¿Son los aspectos geológicos, estructurales e hidrogeológicos tomados en cuenta para el diseño de voladura?**

En general la variable geología, estructuras e hidrogeología son tomada en cuenta de manera individual, entre todos sus indicadores la litología he considerada con mayor énfasis para el diseño de la voladura y la misma es tratada otorgándole una competencia de acuerdo al modelo de bloque de dureza y al proceso de perforación en campo, las alteraciones del modelo geológico podrían proporcionar gran información sobre el estado de las rocas a ser voladas si a esta se le dieran un tratamiento más preciso.

En muchas de las zonas, las informaciones previas que han sido levantadas por los departamentos de Geología (sección mapeo) y Geotecnia cercana al área a volar no son proporcionada con antelación para el banco a proyectar y así poder ajustar el diseño, como lo ocurrido con la malla MO160B006 la cual es cortada por una falla, de igual forma la hidrogeología de los niveles piezómetros de los diferentes pozos de los pits para el diseño de la voladura es considerado mediante 58 revisión previa al carguío por parte de contratista y así preponderar las mezclas ya sea en ANFO como emulsión.

## **¿Los aspectos que se están considerando están logrando un control de dilución en estas voladuras?**

El control de dilución los indicadores de topografía y condiciones del terreno más la mineralización son tomando en cuenta, mediante la utilización de un predictivo, el cual es considerado en el diseño de las vola-

duras y así forzar el movimiento buscando zonas preferenciales para mover las leyes minerales atendiendo a las formas geométricas de los polígonos clasificado con la leyes preestablecidas.

### **¿Las voladuras programadas en las planificaciones se están cumpliendo?**

Según las gráficas generadas de las voladuras planificadas muestra una variación de acuerdo a la cantidad de voladuras planificadas versus las cantidades ejecutadas cada día solo tres días se cumplió con lo planificado. Las voladuras planificadas versus las voladuras ejecutadas conforme a la planificación cada día, cuatro fueron las cumplidas con el plan. Las voladuras que fueron ejecutadas sin estar planificada para el día que se realizaron, estas variaciones en las ejecuciones se deben a las disponibilidades de los equipos de perforación, condiciones del terreno y prioridades de última hora.

La importancia en que las voladuras sean programadas se hace en base a los avances propuesto por planificación a largo plazo, los cuales buscan las mejores leyes y la forma de minado por planificación a corto plazo, que atendiendo a la disponibilidad de espacio, tiempo y equipos procura llevar mineral a los stop piles, alimentación a planta y relleno para caminos de accesos y para las presas de cola localizada en PVDC.

**¿Los criterios que se están considerando en el diseño de la voladura son los más adecuados dadas las condiciones y características de la mina?**

Los criterios que se están considerando para el diseño de la voladura están dando resultado de acuerdo a los requerimientos por parte de quienes reciben el producto final de las voladuras y los involucrados durante todo el proceso de entrega y despacho. Es importante destacar que los criterios tomado para esta investigación están contenido como indicadores dentro de la variable factores de diseños en voladuras y que los mismo de manera general son los más adecuado, tal el caso de los patrones de diseño (bordo-espaciamiento), diámetro de perforación, sub-barrenación y altura de banco. Otros indicadores como las condiciones de pozos, tipo de explosivos y la calidad de taco debieron de tener un mejor tratamiento, pues este último presentó inconveniente de campo durante su carga y detonación. Todos estos aspectos impactan significativamente la eficiencia de una voladura y al tratarse de manera conjunta garantiza buenos resultados.

**¿Han sido los resultados de las voladuras los esperados, atendiendo al producto final para entregar y condiciones del terreno post-voladura?**

El departamento a cargo de evaluar los resultados de las voladuras cuenta con un software para medir la fragmentación, el cual es utilizado para definir los patrones (Burden-espaciamiento) con una frecuencia de medición anual o cuando los patrones presenten dificultad en el fragmentado de las rocas. De acuerdo con esto, cada voladura es observada la fragmentación

de manera visual al igual que quienes sustentan esta investigación y ha sido clasificada en la ficha de evaluación como fragmentación requerida, aceptable o no cumplida. El fin es cumplir con los 60 requerimientos de planta; de que los fragmentos sean menores a 1mts<sup>3</sup> con un porcentaje de permisibilidad preestablecido.

Se entiende que la disposición del material resultante de la voladura ha cumplido con forma, tamaño y niveles de esponjamiento en casi todas las muestras. Asegurando el minado con las palas y cargadores sea el más adecuado atendiendo a las condiciones del terreno. Esto es posible a la dirección del movimiento, el cual se diseña mediante softwares para forzar que al material dirigirse a un lugar preferencial conforme a los amarres o timing elaborado.

Aunque para ningunas de las muestras hubo registro de TQs, ya que este trabajo de investigación limita su estudio a las voladuras de producción de mineral, las demás realizadas como en el caso de las calizas en Quemados donde se presentaron tiros quedados. Con esta información externa al estudio no se puede dejar de interpretar, atendiendo a que las condiciones son similares (agentes explosivos, diseños), que puede presentarse TQs, puesto que se utilizan los mismos patrones tanto para mineral como no mineral y algunos móvil que pudieron haber generado como el taco o fallas de terrenos. Por la naturaleza de algunos de los pits en su composición litológica vs alteración, las condiciones de piso no son un problema constante, pues para el caso de Moore en donde muchas de sus zona son rocas sedimentarias (VKSI, SKM, VS; Nivel 160) son suaves, las máquinas pueden fácilmente nivelar el piso sin ningún tipo de complicaciones si quedase parte de

las rocas sin ser afectadas por el explosivo. Independientemente de la generalidad hubo un caso para la muestra MO160B008 donde quedaron rocas sin quebrar, llamados “duros”, estos cuerpos suelen ser materiales rocosos. Para estas eventualidades siempre a de necesitarse voladuras secundarias.

Los rompimientos hacia atrás o traseros causados por la acumulación de la energía incrementada en la dirección opuesta, puede deberse a varios motivos tales como fallas geológicas localizada a los pie de taludes, ausencia de precorte y/o zonas buffer, mal diseño de malla, primera fila de pozo con burden mayor al espaciamiento, cantidad excesiva de explosivo y secuencia de tiempos muy cortos o amarres inadecuados. Todas estos se previeron para que no se produjera tal indicador, los mismo fueron tomado en cuenta dentro de los BlastPlan y Timing. Una cantidad excesiva de explosivo, alta dureza de la roca y una baja densidad, determinan la presencia de fragmentos volados durante la detonación de la voladura. Fue posible observar en los video s proyección de rocas en el aire, pero estas nunca superaron su rango establecido (300Mts equipos y 500Mts personas).

**¿Cuál es el costos de la voladura atendiendo a la perforación, explosivos, accesorios y taco, personal y equipos, servicio y custodia?**

Los costos obtenidos para la esta variable las cuales reflejan los gastos parciales solo para los indicadores de perforación, explosivo y taco, los demás como el caso de personal, equipo, servicio y custodia no se pudo tener accesos puesto que eran datos confidencia-

les de la empresa. Por lo tanto esta pregunta de investigación queda inconclusa debido a que no todos los indicadores han sido tratados de forma exacta.

### **¿Fueron aplicados los reglamentos de seguridad de acuerdo a la necesidad del procedimiento de voladura?**

Los procedimientos dispuestos por las empresas en materia de seguridad son respetados y cumplido en su generalidad, pues los avisos y reuniones con antelación 62 de tiempo, demarcaciones, despeje y bloqueos; solo algunos casos aislado de menor relevancia como disposiciones de letreros y conos a una distancia menor a la especificada y justificada por malas condiciones de terreno.

### **Conclusiones**

Las variables geología, estructura e hidrogeología, son consideradas y tratada para el diseño de las voladuras de forma separada y así ajustar las cargas y diseño previendo factores en el terreno que pudiesen afectar el producto final a entregar. El departamento de Drill & Blast toma en consideración el predictivo de leyes minerales elaborado por el departamento de geología, con la finalidad de orientar los movimientos hacia zonas preferenciales y así aprovechar las leyes de una manera más eficiente. Los patrones de diseño varían de acuerdo al terreno para ser volado y los amarres son realizados de manera simple por las condiciones favorables. Solo las recetas explosivas son las mismas y esta no varía 30/70 y 70/30, esto pudiese incidir en los resultados finales de las voladuras como la

fragmentación y la forma de pila. Otros condicionantes para esta presente diferenciaciones del material son la baja calidad de taco y las rocas fragmentas en piso que origina la pérdida de energía.

El plan semanal elaborado por Drill&Blast depende de la planificación a largo plazo (avance de los pits) vs corto plazo (movimiento de equipos, materiales y capacidad de acopio) hacen que éste respondan a las demandas, ajustando las voladuras de acuerdo a las perforadoras disponibles y la cantidad de posos establecido con la contratista ORICA. Drill&Blast concluye los resultados obtenidos de las voladuras en base a la visita luego de la detonación por parte de un supervisor y la contratista ORICA como los: posibles TQs y rompimiento trasero. De manera visual es observada la fragmentación, dirección del movimiento y fragmentos volados mediante los 64 videos generados de las voladuras. Otras evaluaciones posteriores son la forma de pila y nivel de piso post voladura.

Los protocolos por parte de la seguridad física son eficiente no deja fuera ningún indicador que pudiese ser de importación para la seguridad, pues el mismo procura salvaguardar la persona en primer lugar y luego daños a equipos e instalaciones cercana. La supervisión para el aseguramiento de la seguridad y la mala comunicación radial en campo provocaron que algunos de los indicadores presenten dificultades de cumplimiento.

Para otros estudios posteriores a esta investigación ha de servir de base para la evaluación de voladuras controladas, con el fin de efficientizar la producción de mineral en minas a cielo abierto. Además que cada una de las variables o indicador pudiese ser estudiada a

profundidad y así tener un conocimiento más amplio sobre la influencia de estos con las voladuras.

## Referencias

- Aguilar Herrera, F. M., (2013), Métodos y Técnicas de investigación Cualitativa y Cuantitativa en Geografía. Paradigma: Revista de investigación educativa. (No 33), 79-89.
- Arias Odón, F., (1999), El Proyecto de Investigación, Caracas: episteme Bowin, c. (1960): geology of central Dominican Republic. Ph. D. Thesis, Princeton University. Princeton, new jersey, 211 p.
- Exsa; (2013); Manual práctico de voladura; edicion especial; Peru. García, E 2014. Optimización del sistema de explotación utilizado en la mina liga de oro.
- Hernández, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P., (2006). Metodología de la investigación. México: McGraw Hill.
- Hernández, Y;( 2015); Procedimiento despeje, voladura y pos-voladura; Pueblo Viejo Dominicana Corporation; República Dominicana.
- Kumar, B (2010). Blast vibration studies in surface mines. Llera, J; Jimeno C; Ortiz, F; López, E 1987. Manual de perforación y voladura de rocas; España.
- Nelson, C.E., (2000), Volcanic domes and gold mineralization in the Pueblo Viejo district, Dominican Republic: Mineralium Deposita, v. 35, p. 511–525.
- Placer Dome Inc. filing (2005) “Pueblo Viejo Project, Province of Sanchez Ramirez, Dominican Republic 43-101 Technical Report and Qualified Person’s Review”, AMEC, 26 October,.

- PROINTEC (1999), Memoria acompañante del mapa geológico de la República Dominicana escala 1:50.000 HATILLO (6172-I).
- Ruiz, J: A, (1997). Partial privatization of Rosario Dominicana: mining, Environment and Nature-Possibilities and Compatibilities (in Spanish). Santo Domingo, March 7 A seminar Sponsored by CE-DEMPRESA and the law firm of Russin, Vecchi, and Heredia Bonetti.
- Smith, H.A., Stephenson, P.R., Butcher, M.G., Carr, C.A., (2008). Pueblo Viejo Gold Project, Dominican Republic. Technical report p