



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”  
FACULTAD DE GEOLOGÍA –MINERÍA  
DEPARTAMENTO DE MINAS**

**Trabajo de diploma presentado en opción al Título de Ingeniero de Minas**

**ANÁLISIS DEL COSTO DEL SERVICIO DE PERFORACIÓN Y  
VOLADURAS EN EL YACIMIENTO VICTORIA II**

**Autora: Surisaday Alvarez Guzmán**

**Moa-2017**



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”  
FACULTAD DE GEOLOGÍA –MINERÍA  
DEPARTAMENTO DE MINAS**

**Trabajo de diploma presentado en opción al Título de Ingeniero de Minas**

**ANÁLISIS DEL COSTO DEL SERVICIO DE PERFORACIÓN Y  
VOLADURAS EN EL YACIMIENTO VICTORIA II**

**Autora: Surisaday Alvarez Guzmán** .....

**Tutores: Esp. Ing. Julio Montero Matos** .....

**Ing. Iván Mustelier Castellanos** .....

**Moa-2017**

# *DEDICATORIA*

*A mis padres Roner Alvarez Sosa y Jenney Guzmán Rojas*

*A mi hermano Ronny Alain Alvarez Guzmán*

*A mis abuelas Teresa y Georgelina*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por darme la fuerza y la sabiduría para desarrollar este trabajo de diploma.*

*A mis padres por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.*

*A mi hermano por confiar en mí en todo momento.*

*A mis abuelitas Tere y Georgelina por haberme dado mucho más de lo que tenían.*

*A mis "amigas y amigos" por estar siempre a mi lado tanto en los momentos malos como en los buenos.*

*A mi tutor Julio Montero Matos por aparecer en el momento indicado y darme la mano para levantarme cuando había caído.*

*A mi familia por el apoyo brindado en todo este tiempo.*

*A todos los profesores del departamento de Minería que de una u otra forma colaboraron con mi formación durante estos 5 años.*

*Al DrC Jose Otaño Noguez y al Ing. Víctor Francisco Amaru Díaz por la ayuda brindada para la realización de este trabajo.*

*Al personal de la Empresa de Canteras por el apoyo brindado, en especial a mi tutor Iván Mustelier y a la ingeniera Adislet Cabrera.*

*A mi instructora Adis García Garcel por su amistad y por su apoyo.*

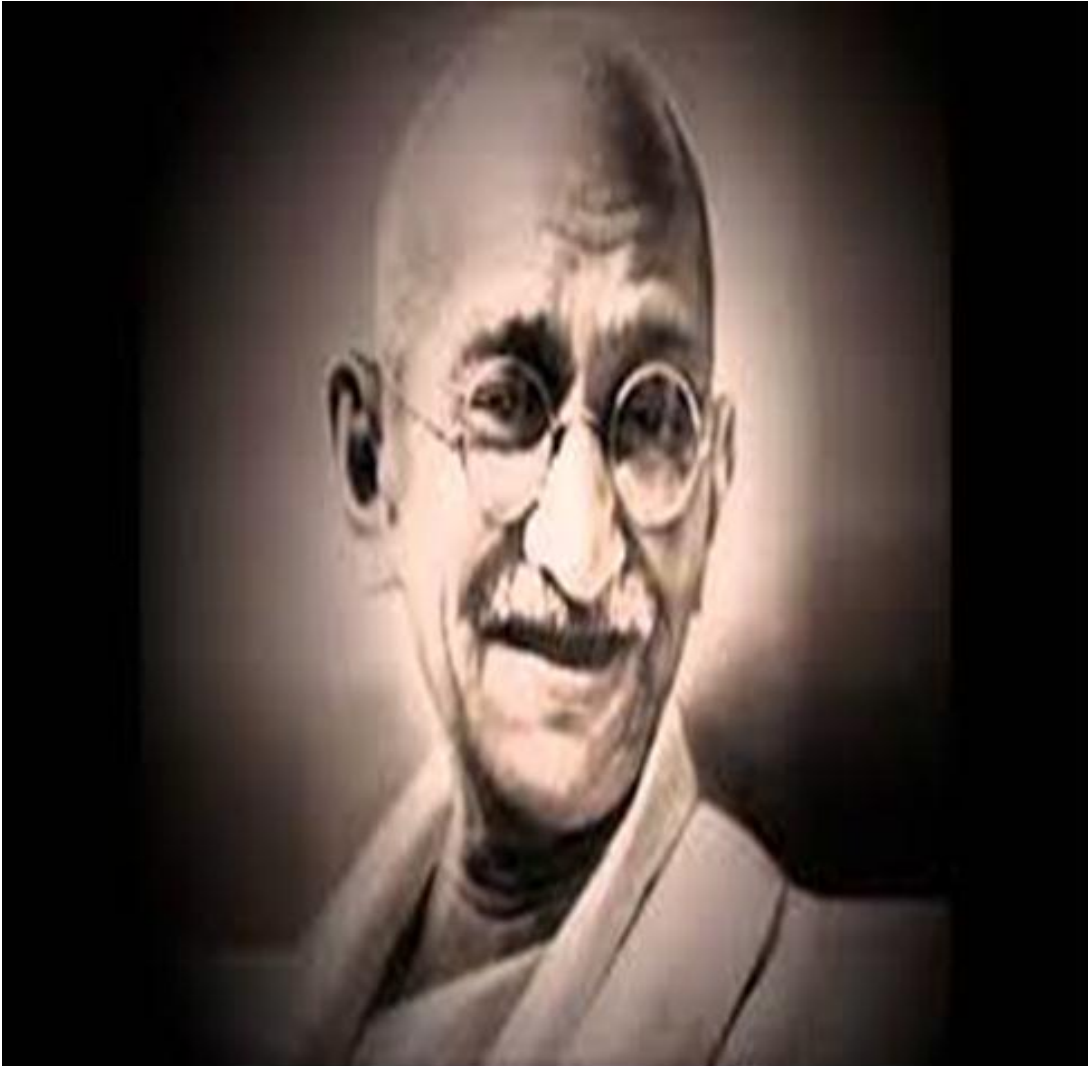
*A Seida y Abel por acogerme como una hija.*

*A Eruberto, donde quiera que esté, por esas palabras que hicieron que hoy esté escribiendo estas líneas.*

*A mis compañeros de aula.*

*A todas aquellas personas que confiaron en mí y me brindaron su apoyo.*

## *PENSAMIENTO*



*No debes perder la fe en la humanidad. La humanidad es un océano; si algunas gotas están sucias, el océano no se vuelve sucio”*

*Mahatma Gandhi*

## **RESUMEN**

El proceso de arranque de la roca en la explotación de canteras es un proceso fundamental, el cual puede realizarse por métodos mecánicos y con la utilización de perforación y voladura; siendo este último el más usado. Dicho proceso juega un papel fundamental en la determinación del costo de operación de una cantera.

La explotación de canteras en Cuba establece que el costo de perforación y voladura está constituido por el precio del metro cúbico de rajón volado y por los gastos de medios de explosión. En los últimos años este costo ha presentado una variabilidad significativa en los yacimientos pertenecientes a la Empresa de Canteras, dentro de estos está el yacimiento Victoria II.

Este trabajo tiene como objetivo analizar el costo del servicio de perforación y voladura del año 2016 en el yacimiento Victoria II, para lo cual se caracterizaron los trabajos de perforación y voladura que se realizan en el yacimiento, se analizaron los indicadores económicos que integran el costo de estos trabajos; lo que permitió determinar los factores fundamentales que influyen en la variabilidad de dicho costo y establecer medidas correctoras para lograr la estabilización del mismo.

## **ABSTRACT**

The process of extracting the rock in quarries is a fundamental process, which can be performed by mechanical methods and with the use of drilling and blasting; that being the most used. This process plays a fundamental role in determining the cost of operating a quarry.

The exploitation of quarries in Cuba establishes that the cost of drilling and blasting is constituted by the price of the cubic meter of fragmented rock and by the expenses of means of explosion. In recent years this cost has presented a significant variability in the deposits belonging to the Quarries Company, within these is the Victoria II deposit.

This work has as an objective to analyze the cost of drilling and blasting services in 2016 at the Victoria II site, for which the drilling and blasting work carried out at the site was characterized, the economic indicators that make up the Cost of these activities; Which allowed to determine the fundamental factors that influence the variability of the mentioned cost and to establish corrective measures to achieve the stabilization of the same.

## **INDICE:**

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. MARCO TEORICO REFERENCIAL .....</b>	<b>4</b>
1.1. Explotación de canteras .....	4
1.2. Perforación y voladura.....	4
1.3. Influencia de los trabajos de perforación y voladura en el costo de operaciones. 5	
1.3.1. Costo de operación en el yacimiento Victoria II .....	7
1.4. Revisión bibliográfica .....	9
1.5. Características generales del yacimiento Victoria II .....	10
1.5.1. Ubicación geográfica.....	10
1.5.2. Geología del yacimiento.....	11
1.5.3. Geomorfología .....	12
1.5.4. Tectónica.....	12
<b>CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS DEL SERVICIO DE PERFORACIÓN Y VOLADURAS .....</b>	<b>14</b>
2.1. Caracterización de los trabajos de arranque en el yacimiento Victoria II .....	14
2.2. Caracterización del Servicio de Perforación y Voladuras en el yacimiento Victoria II .....	18
2.2.1. Composición del costo del servicio de perforación y voladuras .....	19
2.2.2. Características técnicas de los componentes de voladura.....	20
2.3. Análisis del costo del servicio de perforación y voladuras del año 2016 en el yacimiento Victoria II .....	30
<b>CAPÍTULO III. ANÁLISIS DEL COSTO DEL SERVICIO DE PERFORACIÓN Y VOLADURAS EN EL YACIMIENTO VICTORIA II.....</b>	<b>31</b>
3.1. Análisis del comportamiento del costo del servicio de perforación y voladuras en los años 2015 y 2016 .....	31



3.2. Análisis gráfico del servicio de perforación y voladuras del año 2016 en el yacimiento Victoria II .....	33
3.3. Determinación de los factores que provocan la variabilidad del costo del servicio de perforación y voladuras .....	44
3.4. Medidas correctoras .....	45
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>48</b>



## INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad económica del sector primario representada por la explotación de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos. Dependiendo del tipo de mineral a extraer la actividad se divide en minería metálica, minería no metálica y minería de los minerales energéticos o combustibles.

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, ya que se sabe que desde tiempos de la prehistoria el hombre ha usado diversos minerales para la fabricación de herramientas y armas. Con el pasar de los siglos se convirtió en una importante industria, que ha creado una serie de técnicas, estudios y análisis físico-químicos con el objetivo de mejorar la exploración y explotación de los yacimientos.

Las empresas mineras son las encargadas de llevar a cabo la explotación de estos yacimientos como industria, cuya competencia depende de la producción de mineral extraído y de la calidad del mismo. En dependencia del volumen de producción de la mina, la actividad se divide en gran, mediana y pequeña minería, no obstante, en algunos países existe una cuarta categoría, la artesanal

En Cuba, las cuatro ramas principales de la minería de minerales sólidos son níquel, oro, polimetálicos y la minería de rocas y minerales industriales. Esta última es de vital importancia, pues produce los principales materiales de construcción y materias primas necesarias para muchas ramas industriales de servicio a la sociedad.

En los últimos años en el país se han incrementado las construcciones para el turismo y obras sociales de todo tipo y tras el paso de huracanes, ha aumentado la necesidad de la reconstrucción del fondo habitacional y las construcciones de infraestructura; por este motivo se ha incrementado considerablemente la demanda de materiales de construcción, principalmente áridos.

La Empresa de Canteras de la provincia La Habana es la proveedora de áridos y productos blancos destinados a la ejecución de obras de ingeniería, de arquitectura y viales de la capital cubana y a las provincias de Artemisa y Mayabeque.

Tiene como misión satisfacer la creciente demanda de áridos para las construcciones, garantizando su rentabilidad y la calidad requerida para su uso en la



producción de hormigones hidráulicos de baja, mediana y alta resistencia. Garantiza la producción de piezas prefabricadas de alta resistencia, materiales de la construcción, mezclas asfálticas, así como materiales para obras de albañilería en general

La Empresa de Canteras cuenta con una Oficina Central y 9 Unidades Empresariales de Base (UEB). De ellas 6 dedicadas a la producción de áridos y productos blancos, como son UEB Mariel, UEB Marianao, UEB Caimito, UEB Guanabacoa, UEB San José y UEB Alacranes. Dentro de dichas UEB se encuentran agrupados los 12 yacimientos que forman parte de la Empresa de Canteras, actualmente 8 de estos se encuentran en explotación.

Los trabajos de perforación y voladura en los frentes de canteras constituyen el proceso fundamental para la extracción de áridos, estos trabajos son realizados por la Empresa de Servicios Mineros Geológicos (EXPLOMAT); el costo de los servicios de perforación y voladuras es uno de los indicadores económicos de gran significación para la determinación del costo de operación de la empresa.

### **Situación problemática**

La UEB Canteras Guanabacoa agrupa tres yacimientos, dentro de estos el yacimiento Victoria II, es el de mayor influencia por la cantidad de trabajos de perforación y voladuras que se realizan anualmente (36).

El costo de los servicios de perforación y voladuras en este yacimiento tuvo mucha fluctuación en el año 2016; lo que propició que no existiera un gasto estable de recursos financieros durante los 12 meses del año en cuestión, situación que llamó la atención de los concesionarios por la variabilidad del costo de operación durante el año en cuestión.

### **Problema**

Necesidad de analizar el costo del servicio de perforación y voladuras prestados por la Empresa de Servicios Minero Geológicos EXPLOMAT en el yacimiento Victoria II durante el año 2016.

### **Objeto de estudio**

El costo del servicio de perforación y voladuras



## **Objetivo General**

Analizar el costo del servicio de perforación y voladuras en el yacimiento Victoria II del año 2016 para determinar los factores que influyen en su variabilidad.

## **Campo de Acción**

Yacimiento Victoria II

## **Hipótesis**

El análisis del costo del servicio de perforación y voladuras en el yacimiento Victoria II del año 2016 permitirá determinar los factores que influyen en la variabilidad del mismo.

## **Objetivos Específicos**

1. Caracterizar los trabajos de perforación y voladura en el yacimiento Victoria II.
2. Analizar los indicadores económicos que integran el costo del servicio de perforación y voladuras del yacimiento Victoria II del año 2016.
3. Determinar los factores que influyen en la variabilidad del costo del servicio de perforación y voladuras del yacimiento Victoria II del año 2016.



## **CAPÍTULO I. MARCO TEORICO REFERENCIAL**

### **1.1. Explotación de canteras**

La explotación de canteras comprende una parte importante de la minería que se realiza a cielo abierto en el mundo con el objetivo de aportar los materiales de construcción que se extraen. Estas canteras abarcan la extracción de áridos de construcción, arena, arcilla y rocas ornamentales.

Son explotaciones generalmente ubicadas sobre yacimientos en los que se considera que hay pocos problemas de agotamiento de reservas o de selección del material, simplemente por haber recursos a escala global o local y tener, de por sí, una calidad natural adecuada para las exigencias del mercado. La cantera es probablemente el método minero más abundante, con las producciones más pequeñas (Plá, Herrera, 2002).

Normalmente las características físicas y granulométricas, más que las químicas del producto vendible marcan el precio de venta, que es muy bajo, salvo en el caso de las rocas ornamentales.

Los trabajos mineros en cantera consisten en el arranque, traslado y almacenamiento del material. Para ello se deben realizar los siguientes procesos básicos: la preparación de las rocas para la excavación, la excavación-carga, el traslado del material y la preparación primaria del material y su beneficio.

El arranque de las rocas sueltas en su estado común, las rocas densas y las ligadas menos fuertes se realiza exitosamente con máquinas de excavación-carga. Las rocas ligadas fuertes normalmente se preparan para el arranque mediante el proceso de perforación y voladura; proceso más usado en la explotación de canteras.

### **1.2. Perforación y voladura**

La perforación y voladura es una técnica aplicable a la extracción de roca en terrenos competentes, donde los medios mecánicos no son aplicables de una manera rentable. Así, partiendo de esta definición, este método es aplicable a cualquier método de explotación en minería.



La técnica de perforación y voladura se basa en la ejecución de perforaciones en la roca, donde posteriormente se colocan explosivos que, mediante su detonación, transmiten la energía necesaria para la fragmentación del macizo rocoso a explotar.

Existe una relación intrínseca entre la perforación y la voladura, ya que puede afirmarse categóricamente que “una buena perforación posibilita una buena voladura”. Se entiende por buena perforación aquella que se ha hecho con los medios y técnicas más adecuadas y que además se ha ejecutado de forma correcta. Asimismo una buena voladura será aquella que cumple con el objetivo para el que fue diseñada. (Bernaola; Castilla; Herrera, 2013)

En cuanto a los costos de estas actividades se puede decir que el de perforación, depende de varios factores, entre ellos: dureza de la roca, presencia de estructuras geológicas, mantenimiento de los equipos y calificación de los operadores.

Por otro lado el costo de operación, es uno de los principales afectados con el resultado de la voladura ya que se ha comprobado que un mal resultado de la voladura desencadena muchos problemas en operaciones posteriores, bajando sus rendimientos y por ende incrementando los costos. (Joseph, 2012)

Según Sierra (2016) el costo de perforación y voladura se determina considerando el costo de perforación (conformado por la suma del costo capital, de energía, de lubricantes, de aceros y de mano de obra) y el costo de voladura (conformado por la suma del costo del explosivo y el de los accesorios) por separados para lograr una mejor precisión de dicho costo.

En las canteras de materiales de construcción existentes en Cuba, el costo de perforación y voladura, se determina a través de la suma del costo de la perforación (constituido por el precio del metro cúbico de rajón volado) y el costo de voladura (constituido por el precio de la sustancia explosivas (S.E) y los medios de explosión (M.E)).

### **1.3. Influencia de los trabajos de perforación y voladura en el costo de operaciones**

Como es de conocimiento general, el precio de los minerales metálicos es una variable que los mineros no pueden controlar pues depende del mercado

internacional y para todos los efectos no es un valor gestionable por la empresa minera. En ese contexto la efectividad de una organización minera depende en gran medida de cuan bien pueda gestionar su costo de operación.

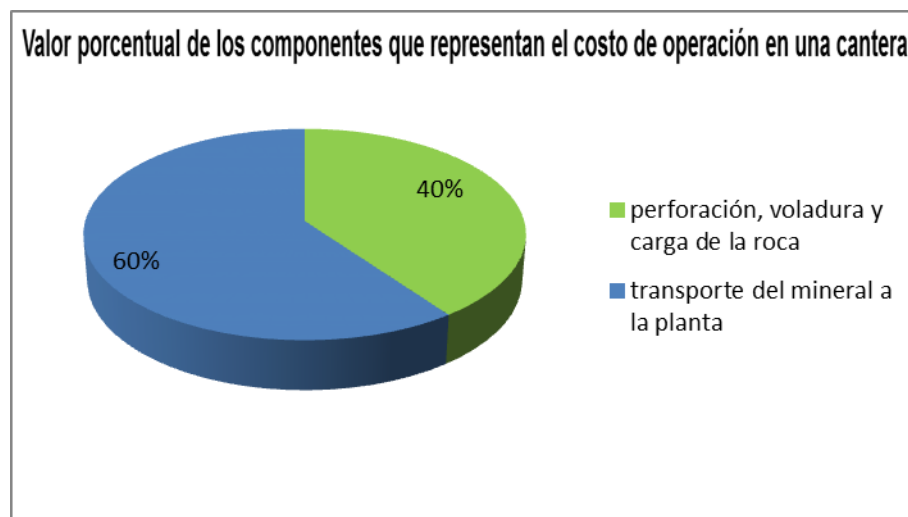
El precio de los materiales de construcción se establece por las mismas empresas productoras y son más bajos que el precio de los minerales metálicos, lo que propicia la necesidad de realizar una explotación con la menor cantidad de gastos para el logro de la producción planificada. Resulta necesario prestar atención por parte de los concesionarios al costo de operación de la cantera haciendo énfasis en las partidas del mismo que propician su carácter variable.

El costo de operación de una unidad minera (figura 1) puede ser desagregado en los siguientes componentes:

- Costo de perforación y voladura
- Costo de carga
- Costo de transporte

Estos costos incluyen una serie de actividades que se realizan en la cantera para la obtención del producto final.

Generalmente se afirma que un 40% del costo minero en una explotación a cielo abierto corresponde a las operaciones de perforación, voladura y carga de la roca, y que el 60% restante se asigna al transporte del material a la planta. (Joseph, 2012)



**Figura 1.** Valor porcentual de los componentes que representan el costo de operación en una cantera



De acuerdo a la experiencia práctica se puede indicar que los costos de perforación (incluyendo los de operaciones y mantenimiento), fluctúan entre un 10% y un 15% del costo global de la operación de la mina.

En función de los rendimientos exigidos y alcanzados, las características de la explotación, los equipos, la operación y el mercado, se pueden obtener costos de voladura que fluctúan entre un 8 % a un 14 % del costo global de la operación de la mina, pudiendo ser mayores o menores dependiendo de las condiciones de operación en la faena. El costo de los insumos depende de las características de ellos y de la necesidad de su utilización en la voladura. El costo de los accesorios puede alcanzar entre un 5 y un 8% del costo global de la voladura.

### **1.3.1. Costo de operación en el yacimiento Victoria II**

El costo de operación se determina para 5 años, período base para la realización del proyecto de explotación y según el plan calendario de extracción. En este acápite se describe de forma particular todos los costos en que se incurren por actividades dentro de la entidad.

Los elementos del costo de operación considerados en las actividades principales y secundarias son:

- Salario y seguridad social
- Combustibles
- Lubricantes
- Neumáticos
- Mantenimiento
- Perforación y voladuras
- Rehabilitación minera
- Misceláneas

#### **Salario y seguridad social**

El gasto de salario incluye todos los gastos relacionados con el pago de la mano de obra necesaria para las operaciones, mantenimientos y dirección de la cantera. Conlleva la previsión para ausentismo, capacitación y tiempo extra.

#### **Combustible**





Para el cálculo del consumo de combustible se tiene en cuenta los índices de consumo horario y las horas de operación de cada equipo. El gasto de combustible corresponde a la multiplicación de las horas de operación, por el índice de consumo horario, por el precio del litro de combustible que se estima en el momento.

### **Lubricantes**

Para el cálculo de los gastos en lubricantes se tiene en cuenta la ficha de costo entregada por la Empresa de Canteras, en la que se usa el 4.0 % del combustible. Estos se calculan como el producto del consumo de combustible por 0.04 por el precio del lubricante, también entregado por la Empresa de Canteras.

### **Neumáticos**

Para el cálculo de los gastos en neumáticos se tiene en cuenta las horas de trabajo de cada equipo por actividad. Estos se calculan como el producto del índice de costo horario para los neumáticos para cada equipo por el total de horas de operación.

### **Mantenimiento**

Para el cálculo de los gastos de mantenimiento se tiene en cuenta las horas de trabajo de cada equipo por actividad. Estos se calculan como el producto del índice de costo horario de mantenimiento para cada equipo por el total de horas de operación.

### **Gastos de perforación y voladuras**

Los gastos de perforación se establecen en el Contrato de servicios productivos N°. 03/2016 (Contrato 03/2016) que tiene la Empresa de Canteras con EXPLOMAT, con un precio del metro cúbico de rajón volado que varía en dependencia de la red de perforación que se emplea en el yacimiento.

Los gastos para las voladuras son por medios propios de la Empresa de Canteras y se estiman sobre la base de los cálculos del pasaporte de perforación y voladura, en el que se definen los consumos de explosivos, medios de explosión y accesorios.

Los gastos de perforación y voladuras se determinan para diámetros de perforación de 85 mm y 115 mm. Para el cálculo general del costo de operación se utiliza el costo de perforación y voladura para el diámetro de 115 mm ya que este arroja los resultados mayores.



## Misceláneas

La partida miscelánea cubre gastos que no están asociados directamente con mano de obra o equipamiento, como son: suministros de oficinas, comunicaciones, material higiénico-sanitario, medios de protección e higiene del trabajo, consultantes/contratistas, mantenimiento de edificaciones y otros.

El cálculo del costo de operación se realiza usando hojas de la aplicación Excel del paquete de Microsoft Office, la cuales se preparan usando metodologías de los manuales de Komatsu y Caterpillar, además de otros elementos para complementar y adecuar a las condiciones de Cuba y del sitio.

### 1.4. Revisión bibliográfica

Igarza (2010), en el Proyecto de Explotación de la Zona 1 del Yacimiento Aguadores Este, para el arranque tanto del estéril como el material útil utiliza el método de perforación y voladura, hace uso de las sustancias explosivas Tectrón 100 y Nitromiel y como medios de explosión emplea detonadores y cordón detonante. El autor no tiene en cuenta en los cálculos económicos referidos a la perforación y la voladura el costo de los medios de explosión que propone.

Alvear G. Christian et al (2011) en el artículo Diseño y análisis económico de la explotación a Cielo Abierto de un yacimiento de caliza, realizan un análisis económico de acuerdo a los costos de producción para determinar la rentabilidad del proyecto. El análisis del costo se realiza considerando las partidas: personal, explosivos, combustibles, barrenos y brocas; determinando que la partida más representativa en el costo de minado es la de explosivos. Esta investigación denota la importancia del consumo de explosivos como parte fundamental para conformar el costo de perforación y voladura.

En el trabajo de diploma titulado “Proyecto de explotación de la ampliación norte del yacimiento Cantera Blanca” de Salas (2015) se determina correctamente el costo de perforación y voladura teniendo en cuenta que el propio concesionario realizará todos los procesos tecnológicos en la cantera; sin embargo el autor aunque tiene en cuenta lo establecido en el contrato entre la Empresa de Canteras y EXPLOMAT, no realiza el cálculo del costo de la perforación considerando el metro cúbico de rajón

volado y no analiza la incidencia del costo de perforación y voladura dentro del costo de operación.

Parra (2015), en su trabajo de diploma titulado “Apertura del sexto horizonte de la cantera de materiales para la construcción El Cacao” emplea el arranque del material con los trabajos de perforación y voladura. La autora para el cálculo de estos trabajos tiene en cuenta solo el costo por metro cúbico de rajón volado y no incluye el costo de los componentes de voladura.

## **1.5. Características generales del yacimiento Victoria II**

### **1.5.1. Ubicación geográfica**

El yacimiento de arenisca calcárea Victoria II pertenece a la Empresa de Canteras y lo explota la UEB Canteras Guanabacoa. El yacimiento suministra de materia prima a los centros de producción CP-301 “VICTORIA II” y CP-302 “VICTORIA III”. La cantera está ubicada a 3 Km al Suroeste del poblado de Arango, Municipio Guanabacoa, provincia La Habana, (ver figura 2) este se encuentra a corta distancia de la Autopista Nacional (8 vías), con la cual se comunica con caminos y terraplenes, aunque también cuenta con vías asfaltadas en toda su extensión.



**Figura 2.** Ubicación geográfica de la cantera Victoria II



### 1.5.2. Geología del yacimiento

EL yacimiento Victoria II se encuentra situado en la zona perteneciente al municipio Mayabeque en el Anticlinario Habana – Matanzas, cuyo núcleo está compuesto por rocas del Cretácico Superior (K2), Paleógeno y Mioceno en los flancos.

Las rocas del (Cretácico Superior-Maestrichtiano) de la formación Peñalver están conformadas en general por las secuencias de areniscas cálcneas (de grano muy fino, fino, medio y grueso), raramente por las calizas organógenas y pelitomórficas. Las rocas subyacentes están compuestas por tufitas monocristalinas, conglomerados de granos finos-medio, también se observan intercalaciones de lentes de arcillas arenosas y lutitas.

La estructura geológica del yacimiento

Conglomerado .....	Ø > 2.0 mm
Grano muy grueso.....	Ø 2.0 – 1.0 mm
Grano grueso.....	Ø 0.5 – 1.0 mm
Grano medio.....	Ø 0.25 – 0.5 mm
Grano fino .....	Ø 0.1 – 0.25 mm
Grano muy fino.....	Ø 0.05 – 0.1 mm

A continuación se ofrece una breve descripción de los tipos litológicos documentados en el área

*Tufitas litocristalinas:* Son de grano fino y de textura masiva, generalmente están fragmentadas, las tufitas presentan una estructura litocristalina formada por fragmentos cuyos tamaños varían de 0.1–0.25 mm de roca efusiva media.

*Conglomerados (gravelitas):* Por lo general presentan textura masiva con algún grado de bandeamiento y coloración de gris cenizo a crema. Su estructura es generalmente psefítica gravelítica de grava pequeña y puede presentar gran cantidad de vetas de calcita.

*Arenisca de grano grueso:* Por lo general presenta color gris cenizo cuando no están alteradas, cuando lo está su color se hace crema, aparece masiva en su textura y la estructura es psamítica de grano grueso.



*Arenisca de grano medio:* El color de la roca fresca es gris cenizo y cuando está alterada se presenta de color crema. En las grietas abiertas se observan superficies de alteración de color crema, son masivas, atravesadas por vetillas de calcita.

*Arenisca de grano fino:* Estas tienen en estado fresco un color gris cenizo e intemperizadas gris verde.

*Calizas:* Las calizas son organógenas, organógenas–detríticas recristalizadas. Las areniscas, calizas y gravelitas componen el espesor útil del yacimiento y es utilizado por la cantera para la producción de la arena artificial.

*Intercalaciones de arcillas con mayor o menor cantidad de arena:* En ocasiones tiene carácter margoso y aparecen semiconsolidadas de color pardo rojizo a gris oscuro con gravas y guijarros

### **1.5.3. Geomorfología**

Desde el punto de vista morfológico, el yacimiento de arenisca calcárea Victoria II, presenta una forma y yacencia bastante regular, esto se refleja en el relieve de la zona que no es muy complicado.

En líneas generales la estructura del yacimiento es bastante continua y solo se ve afectada por los procesos tectónicos, así como, los procesos ocurridos en el proceso de sedimentación de estos, que provocó algunas variaciones en lo que respecta al tipo granulométrico, así como en la aparición de diferentes intercalaciones de lutitas y arcillas arenosas que provocan en menos grado la disminución de la calidad industrial de este material en algunos sectores.

### **1.5.4. Tectónica**

La estructura principal del yacimiento está interceptada por dos sistemas de fallas en dirección sublatitudinal y submeridional. El sistema de las fallas sublatitudinal limita el yacimiento por el sur y suroeste. Al sur yacen (en su gran mayoría) las rocas carbonatadas, las cuales son muy duras, de grano fino, las calizas masivas y las margas.

Para el yacimiento se desarrollan zonas de trituración, un sistema de grietas y fisuras producto a los procesos tectónicos, factor que influye en el proceso de alteración de las areniscas. La importancia de estas zonas en el proceso de destrucción del



---

material es que son las principales vías de circulación de las aguas superficiales que alteran a estas areniscas bajándole su calidad.

La existencia de grietas durante el curso de la extracción tiende a formar paredes aproximadamente verticales que son ideales para el aprovechamiento de los explosivos.



## **CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS DEL SERVICIO DE PERFORACIÓN Y VOLADURAS**

### **2.1. Caracterización de los trabajos de arranque en el yacimiento Victoria II**

Para la caracterización de los trabajos de arranque en la cantera, se estudió el proyecto de explotación de la misma, se realizaron trabajos de campo y se recogieron los datos más significativos, que son expuestos a continuación.

Debido a las características físico mecánicas de las rocas en toda el área de la cantera, el arranque del material se hace directo con el uso de explosivos. Para hacer el arranque con el uso de explosivos, son calculados los parámetros necesarios para los trabajos de perforación y voladura, resultando de ahí, el pasaporte de perforación y voladuras.

Los trabajos con explosivos garantizan el grado de fragmentación necesario que debe ser enviado a la planta, las dimensiones, las cotas, forma y dimensiones de los escalones, la acción sísmica permisible sobre el macizo, una alta productividad del trabajo de los equipos de excavación-carga y seguridad de los trabajos. La voladura que se realiza es de separación del macizo y tiene una granulometría óptima para garantizar una alta productividad de los equipos.

El ciclo general para el trabajo de perforación-voladura comprende las siguientes actividades:

- ✓ Replanteo para las perforaciones
- ✓ Perforación de los taladros
- ✓ Revisión de los taladros
- ✓ Carga y conexión de los taladros
- ✓ Revisión de la red para disparo
- ✓ Avisos reglamentarios
- ✓ Disparo
- ✓ Revisión del frente volado

Teniendo en cuenta las propiedades físico mecánicas de las rocas a arrancar (dureza, homogeneidad, agrietamiento, etc.) y la granulometría en la fragmentación requerida es realizado el cálculo del pasaporte de perforación y voladura para las



etapas planificadas. Las labores de perforación y voladura son realizadas por EXPLOMAT con sus equipos y personal calificado.

Para realizar la perforación se cuenta con dos equipos una perforadora Rock 460 PC, con diámetros de perforación de 85 y 115 milímetros, con una productividad de 14,5 m/h y un compresor XAHS-416 con una capacidad de 16 m<sup>3</sup>/h.

La selección de los componentes de voladura (ver anexos 1 y 2) forma una parte importante del diseño de la voladura y por consiguiente de los resultados a obtener.

Para la selección se tiene en cuenta el precio de los explosivos, diámetro de la carga, características de la roca, volumen de roca a volar, presencia de agua, el clima de la zona, etc.

Debido a las características medio ambientales, se emplean los productos principales ofrecidos por la Unión Latinoamericana de Explosivos S.A (ULAEX S.A). Se trabaja en los meses de Mayo-Noviembre por ser el periodo de lluvia con Senatel Magnafrac–Fortel Tempus y en el tiempo de Diciembre-Abril que corresponden a los meses de seca con Senatel Magnafrac-Fortel Tempus o Amex y en ambos casos la sustancia de fondo es el Senatel Magnafrac, siempre que las condiciones lo permitan se usa Amex para abaratar el costo de las voladuras.

Partiendo de la metodología establecida (ver anexo 3) se determinan los parámetros para el pasaporte típico del yacimiento (tabla 1) teniendo en cuenta la altura del banco que es de 10 metros y los períodos de lluvia o seca.

Los taladros tienen un ángulo de inclinación de 85 grados. Se cuidan al máximo las labores de perforación, señalizando aquellos taladros que presentan fisuras para tenerlo en cuenta a la hora de cargar el explosivo. Se deja cada barreno bien limpio, soplado y taponado como se aprecia en la figura 3 para evitar la caída de pequeñas piedras y detritus de la perforación.

Otra variante para la fragmentación de las rocas es la utilización del sistema de emulsiones a granel a través de equipos de cargado.

El explosivo es una emulsión que crece y se denomina Centra Gold, con 94 % de nitrato de amonio y 6 % de nitrato de sodio que se mezclan y se vuelven explosivo en la boca del barreno. Se inicia con 1 patrón de Senatel como carga de fondo.



**Tabla 1.** Parámetros del pasaporte de perforación y voladura empleado en el yacimiento Victoria II

<b>PASAPORTE DE PERFORACIÓN Y VOLADURA</b>			
H: 10 m			
		Valor	
	u.m	115 mm	85 mm
Línea de menor resistencia	m	3	3
Distancia entre fila	m	3	2,5
Distancia entre taladros	m	3	3
Número de filas	u	3	3
Número de taladros en una fila	u	17	17
Longitud de sobreperforación	m	1	1
Longitud de relleno	m	2	2
Longitud del taladro	m	11	11
Longitud de carga	m	9	9
Magnitud de carga	kg	54	45
Carga de fondo (20%)	kg	10,8	9
Cartuchos en el fondo	u	3	3
Carga de columna (80%)	kg	43,2	36
Cartuchos en la columna	u	12	10
Saco de Amex	u	2	1

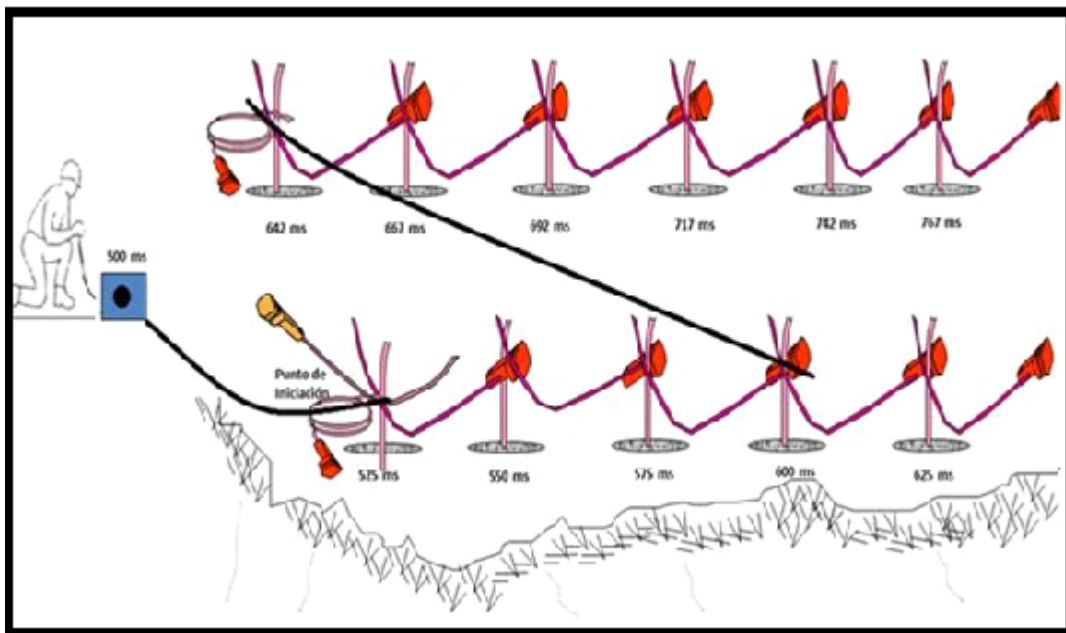


**Figura 3.** Barreno limpio, soplado y taponado

La selección del sistema de iniciación es una de las consideraciones más importante dentro del diseño de las voladuras. Los medios a utilizar son:

1. Detonadores eléctricos instantáneos, 4 por voladuras, 2 en uso y 2 de reserva.
2. Conectores de Superficie Exel Conectadet, 2 por voladura.
3. Exel Handidet, 1 por talado.
4. Conector de superficie de 300 m de longitud más 200 m de línea eléctrica para alejarse de la zona de explosión hasta los 500 m.

El esquema de iniciación que se utiliza en el yacimiento se aprecia en la figura 4, la iniciación comienza por el barreno N<sup>o</sup>.1, a partir de él con retardo de 25 ms continuarán los barrenos 2 ,3 y 4, luego se conecta la primera fila en el cuarto taladro con el primer taladro de la segunda fila mediante el conector de superficie Exel Conectadet de 42 milisegundos de retardo, y se conecta el cuarto taladro de la segunda fila con el primer taladro de la tercera y así sucesivamente, siempre con 4 barrenos de adelanto una fila con respecto a la otra.



**Figura 4.** Esquema de iniciación empleado en el yacimiento



## **2.2. Caracterización del Servicio de Perforación y Voladuras en el yacimiento Victoria II**

Para la caracterización del servicio de perforación y voladuras en el yacimiento, se contó con la información que aparece plasmada en el Contrato 03/2016 de la entidad que presta estos servicios.

Desde el año 2015 a EXPLOMAT, le fue otorgada la responsabilidad de administrar polvorines, transportar explosivos, cargar explosivos e iniciar los disparos en todas las canteras del país. El personal a cargo de estas tareas está totalmente calificado y respeta las regulaciones legales vigentes.

La UEB Canteras Guanabacoa para darle cumplimiento al plan de producción de áridos solicita a través del departamento de Minería de la Oficina Central de la Empresa de Canteras el servicio de perforación y voladuras para el yacimiento Victoria II a EXPLOMAT Centro. A esta empresa se le presenta una demanda que contiene la actividad de producción así como la del desarrollo minero.

Dicha entidad realiza el cálculo del volumen ejecutado por voladura multiplicando los metros barrenados por la red de perforación por el coeficiente de esponjamiento y a esto se le suma el gasto de materiales (componentes de voladura).

Para lograr una mayor eficiencia del servicio el personal de canteras, le solicita a EXPLOMAT la cantidad necesaria de explosivos y medios de explosión.

EXPLOMAT, en su ficha de costo no incluye el gasto material, el cual cobra en CUC por separado en dependencia de lo que se consuma en cada voladura. Al igual que no incluye los fletes de voladuras directas (desde ULAEX hasta la cantera), que también se cobra por separado, los gastos de transportación en traslados internos entre yacimientos, los traslados desde el polvorín a los yacimientos; este gasto corre por el cliente, solo cobra el real de la transportación ejecutada.

El servicio de perforación y voladuras contratado se paga por las normas de cálculo, precios y condiciones reflejadas en la ficha de costo. Los cálculos se basan en la eficiencia en cada proceso, consumo específico de explosivos y medios, manipulación y transporte, red y complejidad de barrenación, la carga, valor de materias primas y materiales de insumo. Los que pueden fluctuar de acuerdo a las



necesidades que se requieren en el yacimiento, teniendo en cuenta estas variaciones el precio pactado se analiza cada seis meses según dicta el PRECONS II y la facturación se realiza por cada voladura teniendo en cuenta la característica de la misma.

### 2.2.1. Composición del costo del servicio de perforación y voladuras

Se indagó en la conformación del costo de servicios de perforación y voladuras, determinándose así que el costo está compuesto por dos indicadores económicos, el primero es el precio del metro cúbico de rajón volado que varía en dependencia de la red de perforación que se emplea en el yacimiento (ver tabla 2), a este precio, luego se le incorpora el gasto material que lo componen los explosivos y medios de explosión, siendo este el segundo indicador económico.

**Tabla 2.** Precio en CUP del metro cúbico de rajón volado por yacimiento según la red de perforación

Yacimiento	Red de perforación (metros cuadrados)					
	2,5x2,5	3x2,5	3x3	3,5x3	3,5x3,5	4x3,5
Alacranes				1,84		
San José			1,83			
<b>Victoria II</b>		<b>1,86</b>	<b>1,83</b>			
Victoria III	1,90		1,86			
Guido Pérez			1,80			
Cantera Blanca			2,18			
Sierra Anafe			2,21			
La molina			3,00			

Los componentes de voladura que se emplean en el yacimiento Victoria II son:

#### *Las Sustancias Explosivas*

- Senatel Magnafrac, utilizado como carga iniciadora en el barreno y carga de fondo.
- Fortel Tempus, emulsión encartuchada, la cual es empleada como carga de columna en presencia de agua o con la existencia de humedad en los barrenos.
- Amex, explosivo granulado, empleado como carga de columna, no recomendable su uso en presencia de agua o con la existencia de humedad en los barrenos.



### *Medios de explosión*

- Exel™ Handidet, medio que va introducido en el barreno y acoplado al explosivo que se emplea como carga de fondo.
- Exel™ Conectadet, medio empleado para la conexión entre filas de barrenos y para garantizar el retardo.
- Exel Conectadet, medio usado como línea de tiro para la iniciación
- Detonadores eléctricos instantáneos, medio para iniciar la voladura
- Cable Blanco Duplex y Alambre Simple, medios conductores de energía eléctrica

### **2.2.2. Características técnicas de los componentes de voladura**

Para conocer las características técnicas de los componentes de voladura se recopiló la información existente en las fichas técnicas confeccionadas por la entidad que los fabrica y comercializa, ULAEX S.A.

#### **Senatel™ Magnafrac™:**

La emulsión encartuchada Senatel™ Magnafrac™ es un explosivo robusto y sensible a un detonador. Es de color blanco y de una consistencia robusta, similar a la masilla.

#### *Aplicación*

Senatel™ Magnafrac™ es un explosivo encartuchado a prueba de agua, diseñado para aplicaciones de primado y como columna explosiva de densidad media en minería y trabajos de voladuras en general. La alta velocidad de detonación y la naturaleza robusta de Senatel™ Magnafrac™ la hacen un cebador ideal para la iniciación de columnas de ANFO.

Los cartuchos Senatel™ Magnafrac™ son empaquetados en film que se rompen durante el apisonamiento para maximizar el acoplamiento y la fuerza en volumen dentro del barreno.

#### *Beneficios claves*

- Es una formulación efectiva de costo apropiada para un rango de aplicaciones de voladura.
- Reduce los gases post voladura y mejora el tiempo de retorno.



- Las especificaciones de estrecho diámetro y formulaciones con contenido de cera de Senatel™ Magnafrac™ maximizan el desempeño en el proceso de cargado del cartucho.
- Reduce potenciales explosiones de polvo sulfatados.
- Es altamente resistente al agua, lo que minimiza el percolado y reduce el impacto medio ambiental.
- Se elimina la preocupación relacionada a la nitroglicerina y salud ocupacional por manipulación y almacenamiento.

*Desempeño:* Tiene una densidad de 1,10-1,20 g/cm<sup>3</sup>

Senatel™ Magnafrac™ es envasado en un film de plástico blanco, color resaltante en verde. Los cartuchos estándares se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3.** Cartuchos estándares de Senatel Magnafrac

Diámetro (mm)	Longitud nominal(mm)	Masa nominal (g)	Conteo nominal por embalaje
26	500	310	80
32	500	455	55
55	500	1389	18
65	500	1924	13
85	500	3125	8
100	460	4167	6
115	400	5000	5
127	440	6250	4

Recomendaciones para su uso

*Profundidad de barreno:*

Senatel™ Magnafrac™ es apropiado para ser usado en barrenos de cualquier profundidad siempre que el agua contenida no exceda de 20 m de profundidad.

*Primado e Iniciación:*

Se puede usar un detonador eléctrico N° 8 o un detonador Exel™ para iniciar Senatel™ Magnafrac™ a temperaturas mayores de -15°C (5°F). Con una temperatura inferior a -15°C (5°F), se recomienda un iniciador Pentex™ de tamaño adecuado. No se recomienda el uso de cordón detonante con Senatel™ Magnafrac™.



### *Carguío:*

En barrenos de diámetro pequeño la energía máxima por metro de barreno se puede lograr por medio del apisonamiento del explosivo con un dispositivo de madera apropiado para el diámetro. No se debe usar instrumento metálico para apisonar el explosivo. El cartucho cebador que contiene el detonador no debe ser apisonado.

### *Tiempo de espera en el barreno de voladura:*

En barrenos secos, dado que el empaque de los explosivos no se daña, Senatel™ Magnafrac™ puede ser cargado y disparado varios meses después. Si el embalaje del explosivo se daña, el tiempo de espera en barreno está influido por la extensión del daño al embalaje y por la naturaleza de cualquier agua presente. Incluso con cartuchos cortados en tiras, el explosivo dará buen desempeño después de dos semanas de inmersión.

### **Fortel™ Tempus™:**

La emulsión encartuchada Fortel™ Tempus™ es un explosivo robusto y sensible a iniciador Booster. Es de color pardo y de una consistencia similar a la masilla.

### *Aplicación*

Fortel™ Tempus™ es un explosivo encartuchado a prueba de agua, diseñado para aplicaciones de minería cielo abierto y como columna explosiva de densidad media en minería y trabajos de voladuras en general, en reemplazo de productos explosivos a granel. La alta velocidad de detonación y la naturaleza robusta de Fortel™ Tempus™ la hacen un producto ideal para voladuras en rocas competentes y con presencia de agua.

Los cartuchos de Fortel™ Tempus™ son empaquetados en film que se rompen durante el apisonamiento para maximizar el acoplamiento y la fuerza en volumen dentro del barreno.

### *Beneficios claves*

- Es una formulación efectiva de costo apropiada para un rango de aplicaciones de voladura.
- Reduce los gases post voladura y mejora el tiempo de retorno.
- Reemplaza al ANFO en barrenos con agua.



- Reduce potenciales explosiones de polvo sulfatados.
- Es altamente resistente al agua, lo que minimiza el percolado y reduce el impacto medio ambiental.
- Se elimina la preocupación relacionada a la nitroglicerina y salud ocupacional por manipulación y almacenamiento.

*Desempeño:* Tiene una densidad de 1.20-1.30g/cm<sup>3</sup>

Fortel™ Tempus™ es envasado en un film de plástico celeste, color resaltante en azul. En la tabla 4 se presentan los cartuchos estándares.

**Tabla 4.** Cartuchos estándares de Fortel Tempus

Diámetro (mm)	Longitud nominal (mm)	Masa nominal (g)	Conteo nominal por embalaje
65	500	1924	13
85	500	3125	8
100	460	4167	6
115	400	5000	5

Recomendaciones para su uso

*Profundidad de barreno:*

Fortel™ Tempus™ es apropiado para ser usado en barrenos de cualquier profundidad siempre que el agua contenida no exceda de 20 m de profundidad.

*Primado e Iniciación:*

Se puede usar una emulsión sensitiva Senatel™ o un iniciador Pentex™ junto a un detonador Exel™ para iniciar Fortel™ Tempus™ a temperaturas mayores de -15°C (5°F). Con una temperatura inferior a -15°C (5°F), se recomienda un iniciador Pentex™ de tamaño adecuado. No se recomienda el uso de cordón detonante con Fortel™ Tempus™.

*Carguío:*

La energía máxima por metro de barreno se puede lograr por medio del apisonamiento del explosivo con un dispositivo de madera apropiado para el diámetro. No se debe usar instrumento metálico para apisonar el explosivo. El





cartucho cebador o el iniciador de pentolita que contiene el detonador no deben ser apisonados.

*Tiempo de espera en el barreno de voladura:*

En barrenos secos, dado que el empaque de los explosivos no se daña, Fortel™ Tempus™ puede ser cargado y disparado varios meses después. Si el embalaje del explosivo se daña, el tiempo de espera en barreno está influido por la extensión del daño al embalaje y por la naturaleza de cualquier agua presente. Incluso con cartuchos cortados en tiras, el explosivo dará buen desempeño después de dos semanas de inmersión.

**Amex™**

Es una mezcla balanceada entre nitrato de amonio poroso y combustible diesel, coloreado en rojo. Puede ser cargado en barrenos horizontales e inclinados y es suministrado en sacos de 25 kg.

Es adecuado para ser usado en barrenos secos y que permanecerán secos hasta la detonación. Amex™ puede ser usado como carga de columna en minería cielo abierto, subterránea o canteras y para trabajos de voladuras en general. Puede ser vertido o cargado neumáticamente dentro del barreno.

Ofrece beneficios claves como son:

- Ofrece un desempeño confiable, con resultados consistentes.
- Fácil de cargar y productividad mejorada.
- Permite cargas totalmente acopladas para maximizar los resultados de las voladuras.
- Ofrece una reducida generación de humos post voladura lo que mejora el tiempo de retorno.
- Su coloración roja facilita su identificación

*Desempeño:* Tiene una densidad de 0,80 g/cm<sup>3</sup>

Recomendaciones para su uso

*Diámetro de barreno:*

El diámetro mínimo de barreno recomendado para carga neumática es de 38 mm y para carguío a en forma de vaciado 76 mm.



Primado e Iniciación:

Amex™ puede ser iniciado de manera confiable usando un Booster™ Pentex™ o un cartucho de explosivo Senatel™ junto con un detonador Exel™. El diámetro del cartucho del explosivo Senatel™ debe ser apropiado para el tamaño del barreno. No se recomienda el uso de cordón detonante con Amex™

*Carguío:*

La presión recomendada para carguío de Amex™ es de 350 a 400kPa. Durante el carguío neumático puede ocurrir acumulación de corriente estática. Precauciones tales como el uso de mangueras de carga semiconductoras deben ser tomadas. El carguío neumático debe ser también conectado a tierra. No es recomendable el uso de detonadores desnudos cuando se utiliza carguío neumático.

*Longitud de carga:*

Amex™ puede ser usado en barrenos de cualquier profundidad práctica.

Amex™ es empacado en bolsas de polipropileno con 25 kg de producto, con protección interna de plástico de polietileno.

### **Exel™ Handidet**

*Descripción:*

Corresponde a un detonador compuesto por dos cápsulas y un tubo no eléctrico. Una de las cápsulas se utiliza en superficie para iniciar tubos no eléctricos, mientras que la otra se usa en el interior de los barrenos tanto para iniciar boosters como explosivos encartuchados.

Los detonadores no eléctricos Exel™ Handidet están compuestos principalmente por 4 elementos:

- Cápsula de baja potencia (Fuerza 1): ensamblada al interior de un conector de superficie, diseñado para iniciar hasta seis tubos no eléctricos.
- Cápsula Fuerza 12: cuya función es iniciar la carga explosiva que va al interior del barreno.
- Tubo de choque de color naranja: componente que transmite la señal a la cápsula de retardo. En el momento que el tubo es iniciado, transmite interiormente una onda de choque de baja energía la cual inicia los retardos de ambas cápsulas.



- Etiqueta de retardo: elemento que indica el tiempo de retardo nominal de ambas cápsulas y el largo del detonador.

#### *Aplicación*

El detonador Exel™ Handidet se utiliza en voladuras a cielo abierto. Este producto está diseñado para ser utilizado en conjunto con Exel™ Conectadet, entre sus beneficios cuenta con:

- Mayor seguridad en la operación gracias a la gran resistencia que tiene el tubo no eléctrico.
- Mayor control de la voladura a través de una baja dispersión.
- Producto seguro y fácil de conectar.
- Fácil y rápida verificación de conexión.
- Reduce inventarios en polvorines.
- Apto para utilizarse en voladuras cercanas a sitios poblados gracias al bajo nivel de ruido que genera.

#### *Propiedades Técnicas*

Los tiempos de retardo, las longitudes y cantidades por caja de los detonadores Exel™ Handidet se muestran en las tablas 5 y 6 respectivamente.

**Tabla 5.** Tiempos de retardo de los detonadores Exel™ Handidet

		Si el Tiempo en Superficie es (ms)
Combinaciones de retardos disponibles entre serie Exel™ Conectadet y serie Exel™ MS (ej: 17/800)	Rosado	0
	Verde	9
	Amarillo	17
	Rojo	25
	Negro	35
	Blanco	42
	Naranja	50
	Violeta	65
	Negro	100
	Azul	130
	Azul	150



**Tabla 6.** Longitudes y cantidades por caja de los detonadores Exel™ Handidet

Longitud		Unid/caja 1.1B	Unid/caja 1.4B
metros	pies		
3,6	12	200	120
4,8	16	150	120
6,1	20	120	120
7,3	24	120	120
9,1	30	80	80
10,3	34	80	80
12,2	40	60	60
15,2	50	50	50
18,2	60	40	40
21,3	70	35	35
24,4	80	30	30
27,4	90	30	30
30,4	100	30	30

### **Exel™ Conectadet**

Corresponde a un detonador compuesto por una cápsula de baja potencia (Fuerza 1) ensamblada en un conector de superficie, cuya finalidad es conectar filas de un mismo disparo en voladuras donde los pozos han sido primados con Exel™ Handidet o Exel™ MS. Otra modalidad que presenta Exel™ Conectadet es enrollado en carretes (formato de metraje largo), destinado a iniciar voladuras desde la zona de seguridad.

Los detonadores no eléctricos Exel™ Conectadet están compuestos principalmente por 4 elementos:

- Cápsula de baja potencia (Fuerza 1), ensamblada al interior de un conector de superficie.
- Tubo de choque de color amarillo, componente que transmite la señal a la cápsula de retardo. En el momento que el tubo es iniciado, transmite interiormente una onda de choque de baja energía la cual inicia los retardos al interior de la cápsula.
- Etiqueta, elemento que indica el tiempo de retardo y el largo del detonador.
- Conector J, dispositivo que permite conectar el cordón detonante al tubo no eléctrico en caso que se requiera.



### *Aplicación*

El detonador Exel™ Conectadet se utiliza principalmente en voladuras a cielo abierto.

Este producto está diseñado para iniciar tubo no eléctrico, contándose entre sus beneficios:

- Mayor seguridad en la operación gracias a la gran resistencia que tiene el tubo no eléctrico.
- Mayor control de la voladura a través de una baja dispersión.
- Producto seguro y fácil de conectar.
- Fácil y rápida verificación de conexión.
- Reduce inventarios en polvorines.
- Apto para utilizarse en voladuras cercanas a sitios poblados gracias al bajo nivel de ruido que genera.

### *Propiedades Técnicas*

Los tiempos de retardo, las longitudes y cantidades por caja de los detonadores Exel™ Conectadet se muestran en las tablas 7 y 8 respectivamente.

**Tabla 7.** Tiempos de retardo de los detonadores Exel™ Conectadet

Tiempo Nominal	
0	Rosado
9	Verde
17	Amarillo
25	Rojo
35	negro
42	blanco
50	Naranja
65	Violeta
100	Negro
130	Azul
150	Azul



**Tabla 8.** Longitudes y cantidades por caja de los detonadores Exel™ Conectadet

Longitud		Unid/caja 1.1B	Unid/caja 1.4B
metros	pies		
3,6	12	150	120
4,2	14	120	120
4,8	16	120	120
6,1	20	120	120
7,3	24	100	100
9,2	30	80	80
10,3	34	70	70
12,2	40	60	60
15,2	50	50	50
18,2	60	40	40
24,0	80	30	30
30,4	100	20	20
40,0	132	15	15
50,0	164	15	15
100,0	328	12	12
200,0	656	6	6
500,0	1.640	2	2
750,0	2.460	2	2
1.000,0	3.280	2	2

### **Detonador Eléctrico Instantáneo**

#### *Descripción*

El detonador eléctrico instantáneo sirve para iniciar explosivos industriales. Los detonadores se entregan con una funda de conexión adjunta para un manejo fácil y seguro. El aislamiento de los cables del detonador está hecho de polietileno que ofrece una buena resistencia contra la fricción y el corte, siendo respetuoso con el medio ambiente.

#### *Aplicación*

*Se usa para iniciar explosivos comerciales en trabajos de obra civil y canteras.*

#### *Recomendaciones en su uso:*

- No debe usarse en atmosferas gaseosa o donde pueda haber peligro de explosión de polvo de carbón.



- Usarlo sin booster (iniciadores) y sin carga neumática de Anfo. Usar sólo para explosivos encartuchados.

### **2.3. Análisis del costo del servicio de perforación y voladuras del año 2016 en el yacimiento Victoria II**

Para analizar el costo del servicio de perforación y voladuras, prestados por EXPLOMAT al yacimiento, se tomó como base el año 2016. Del mismo se tomaron los aspectos técnicos y económicos de todas las voladuras realizadas, generando así una base de datos de variables influyentes en el costo del servicio. (Anexo 4)

A través de la recopilación de datos brindados por el departamento de minería de la Oficina Central de la Empresa de Canteras, el trabajo de campo en el yacimiento y haciendo una revisión detallada de los pasaportes de perforación y voladura; fue posible conocer mes a mes las redes de perforación que se emplearon en las distintas voladuras realizadas así como el consumo de sustancias explosivas y medios de explosión. Esto conllevó a conocer el comportamiento del costo del servicio de perforación y voladuras para la producción del material útil y el estéril.

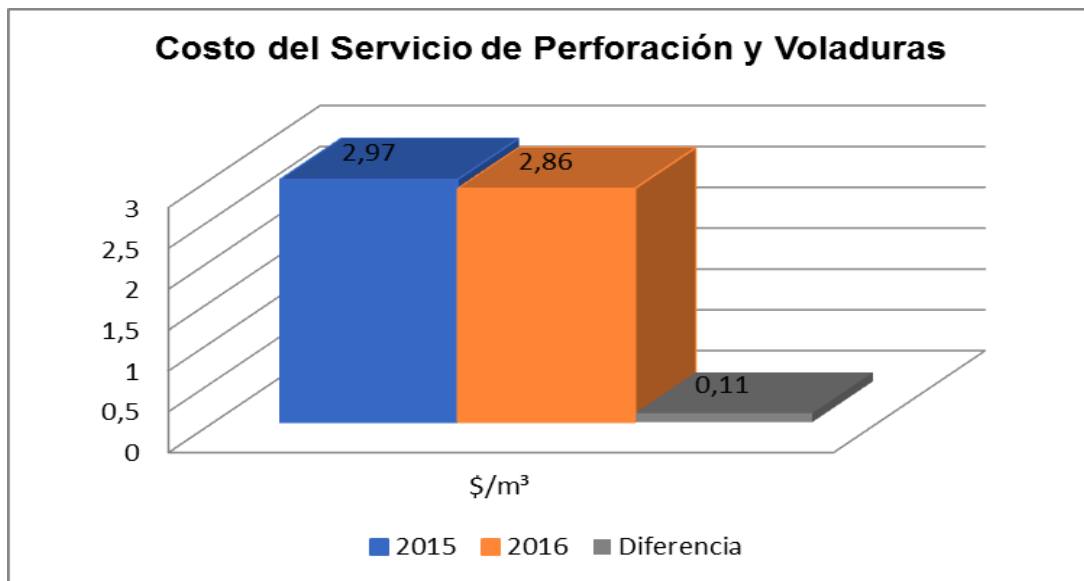
Se examinó el precio propuesto por EXPLOMAT para el metro cúbico de rajón volado (Tabla 2) y el precio de los componentes de voladura. (Anexo 5)

Se realizaron observaciones a los trabajos de perforación y voladura in situ en el yacimiento cuyo objetivo fue chequear la calidad de la organización de estos trabajos y de esta forma se comprobó el comportamiento del consumo de material en las diferentes voladuras que se presenciaron.

## CAPÍTULO III. ANÁLISIS DEL COSTO DEL SERVICIO DE PERFORACIÓN Y VOLADURAS EN EL YACIMIENTO VICTORIA II

### 3.1. Análisis del comportamiento del costo del servicio de perforación y voladuras en los años 2015 y 2016

Desde el año 2015 se ha observado como varía el costo del servicio de perforación y voladuras en el yacimiento Victoria II, la Empresa de Canteras ha tomado medidas para disminuirlo y aunque se produjo una disminución del costo del año 2016 con respecto al 2015 (ver gráfico 1), la variabilidad de estos entre los diferentes meses del año fue significativa.

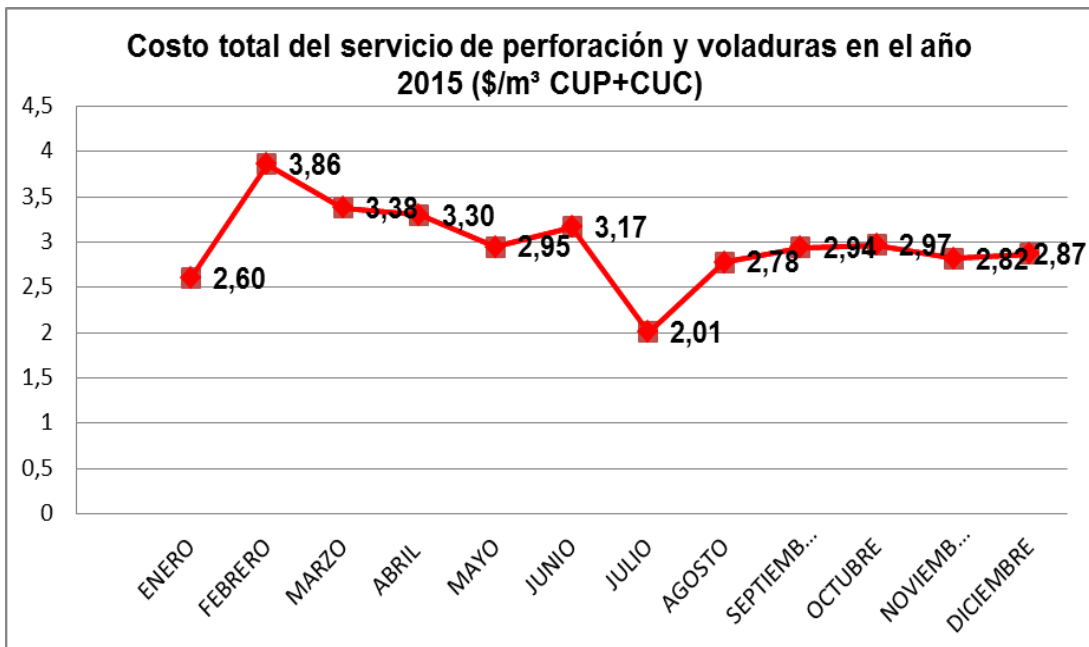


**Gráfico 1.** Costo del servicio de perforación y voladuras de los años 2015 y 2016 en el yacimiento Victoria II

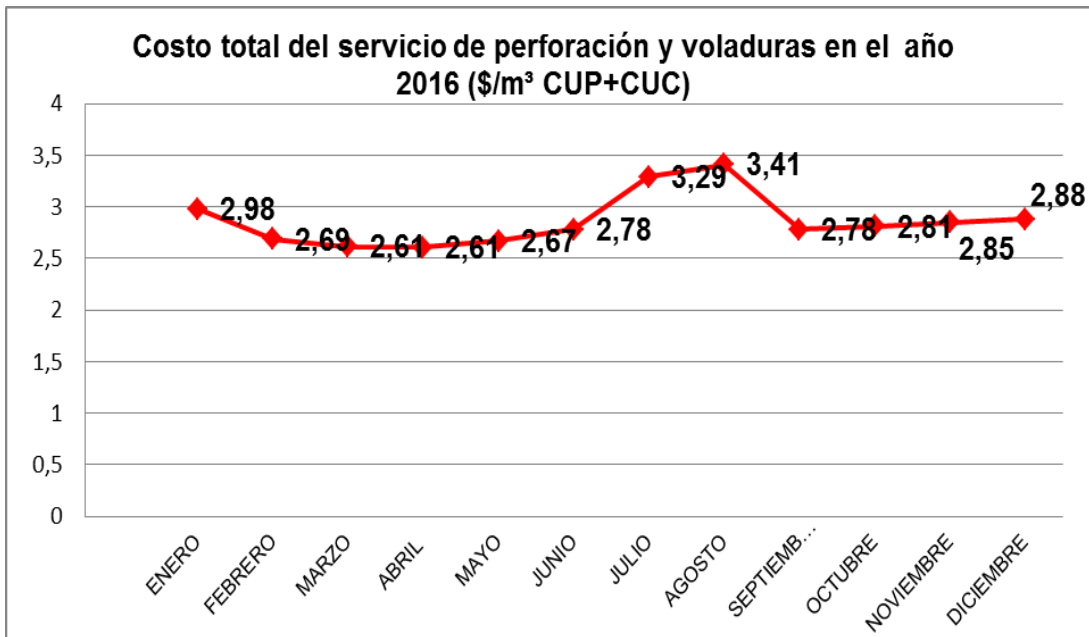
Los gráficos 2 y 3 muestran el comportamiento del costo del servicio de perforación y voladuras de los años 2015 y 2016 respectivamente.

En los mismos se evidencia la variabilidad que se presenta en el costo del servicio de perforación y voladuras en el yacimiento, se aprecia cómo mes a mes hay una inestabilidad en el mismo, cuando este debería mantenerse estable, como se propone en el proyecto de explotación diseñado para la cantera.





**Gráfico 2.** Comportamiento del costo del servicio de perforación y voladuras del año 2015 en el yacimiento Victoria II

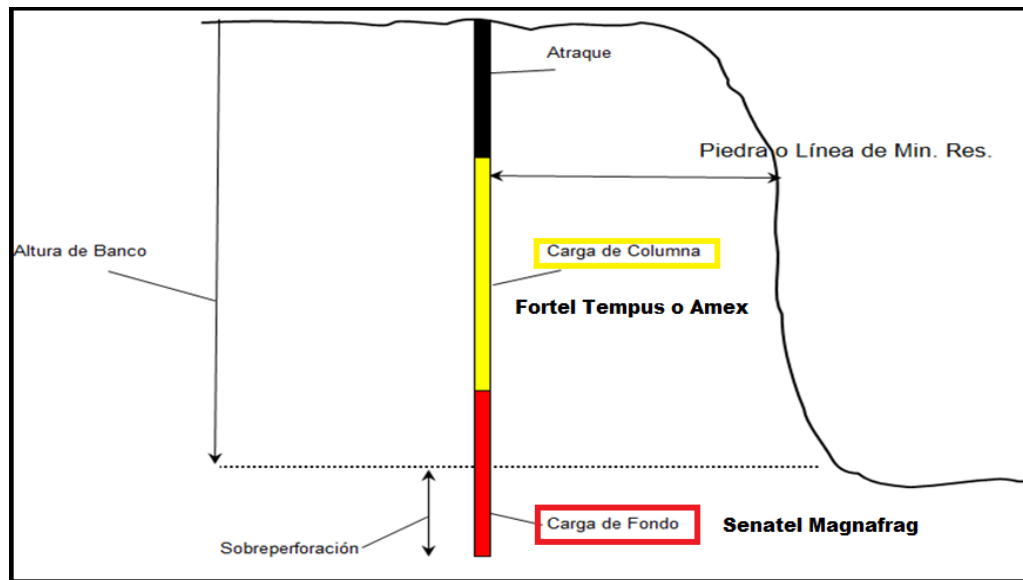


**Gráfico 3.** Comportamiento del costo del servicio de perforación y voladuras del año 2016 en el yacimiento Victoria II



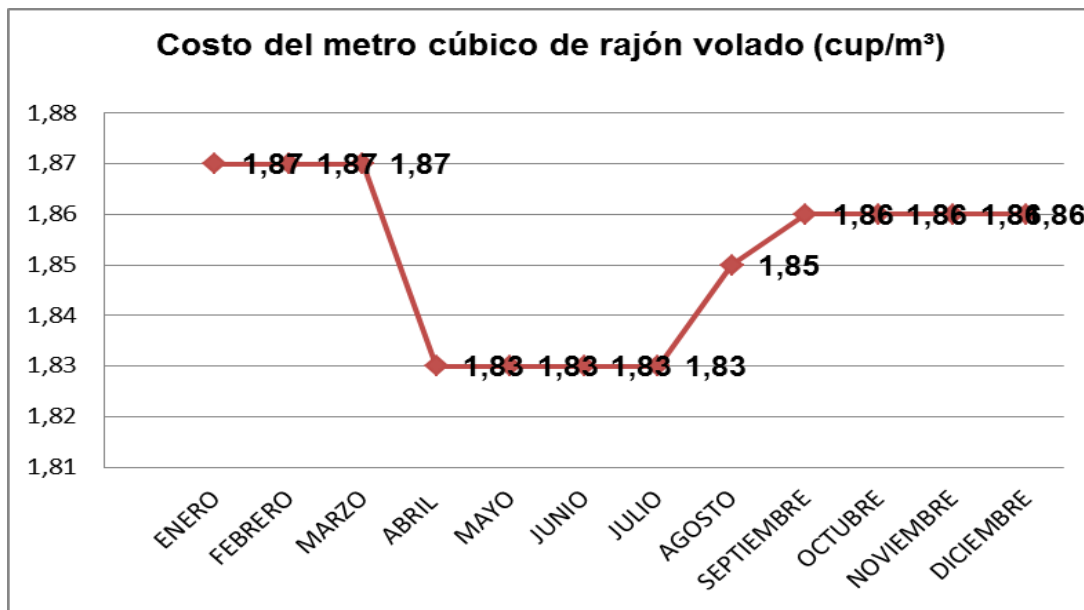
### **3.2. Análisis gráfico del servicio de perforación y voladuras del año 2016 en el yacimiento Victoria II**

Para el análisis del costo del servicio de perforación y voladuras se tomó como base el año 2016, a continuación se expone gráficamente el comportamiento de los elementos que componen el costo de dicho servicio como son el metro cúbico de rajón volado, del cual se determinó que la formación de su precio es correcta, y los componentes de voladura, con los que se tuvo el mayor problema pues su precio fluctuó en función del tipo de explosivo y los medios de explosión que se emplearon. Estos componentes de voladura debido a las características con las que son fabricados experimentan una variación en sus precios, así se tiene que el precio de la S.E encartuchada Senatel Magnafrac aumenta a medida que disminuyen los diámetros (mm) del cartucho, mientras que las sustancias explosivas Amex y Fortel Tempus se mantienen con sus precios fijos. Por otra parte en los medios de explosión (detonadores Exel Handidet y conectores de superficie Exel Conectadet) la variación de su precio está dada por las diferentes longitudes con la que son fabricados, aumentando su precio a medida que aumenta su longitud. (Ver anexo 4) Cada barreno perforado requiere una determinada magnitud de carga de sustancia explosiva distribuida en: carga de fondo y carga de columna. (Ver figura 4). Su adecuada distribución es de vital importancia en la búsqueda de la mayor eficiencia de las voladuras y a la vez evita incurrir en gastos excesivos a la hora de realizar estos trabajos; lo que propiciaría la variabilidad del costo de este servicio. Igualmente sucede para la elección de los medios con los que se inician las voladuras, al no utilizar los adecuados o las cantidades mayores o menores de las que se precisan.



**Figura 4.** Distribución de las sustancias explosivas en un barreno

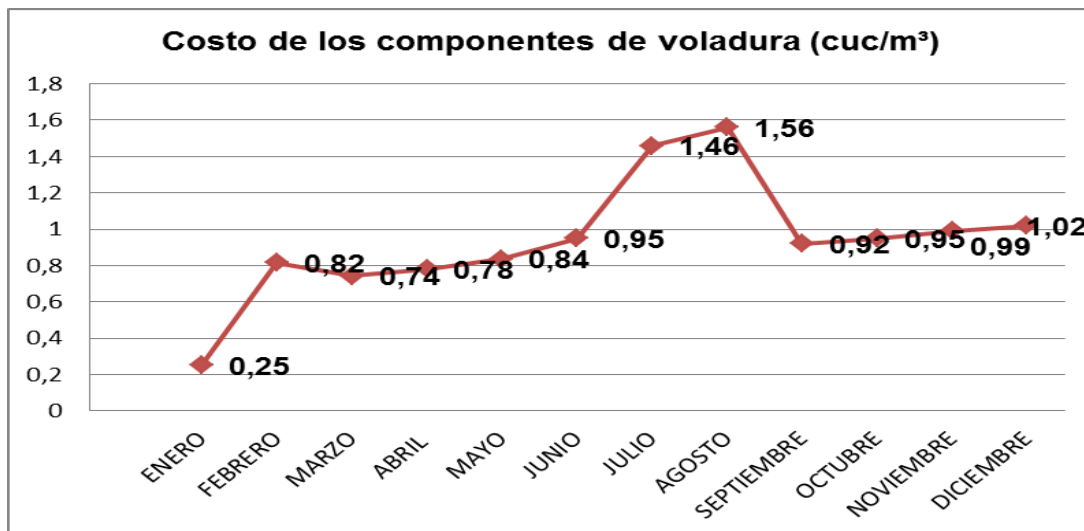
En el gráfico 4 se observa como el costo del metro cúbico de rajón volado experimenta una ligera variación que se debe fundamentalmente al cambio de red de perforación que se haya utilizado en la realización de las diferentes voladuras.



**Gráfico 4.** Costo del metro cúbico de rajón volado durante el año 2016

Por otra parte se analizó el costo de los componentes de voladura (ver gráfico 5), así como su uso en el transcurso del año 2016.

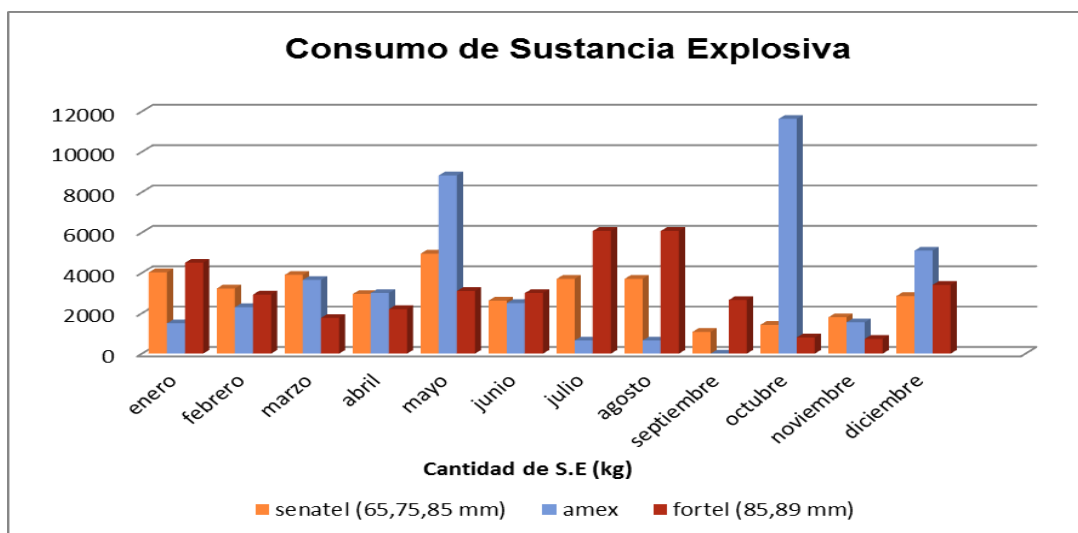
En el gráfico 5 aparece reflejada la variación en el costo de los componentes de voladura, lo que demuestra que de los elementos que conforman el costo del servicio de perforación y voladuras, este es el que mayor influencia tiene en su variabilidad.



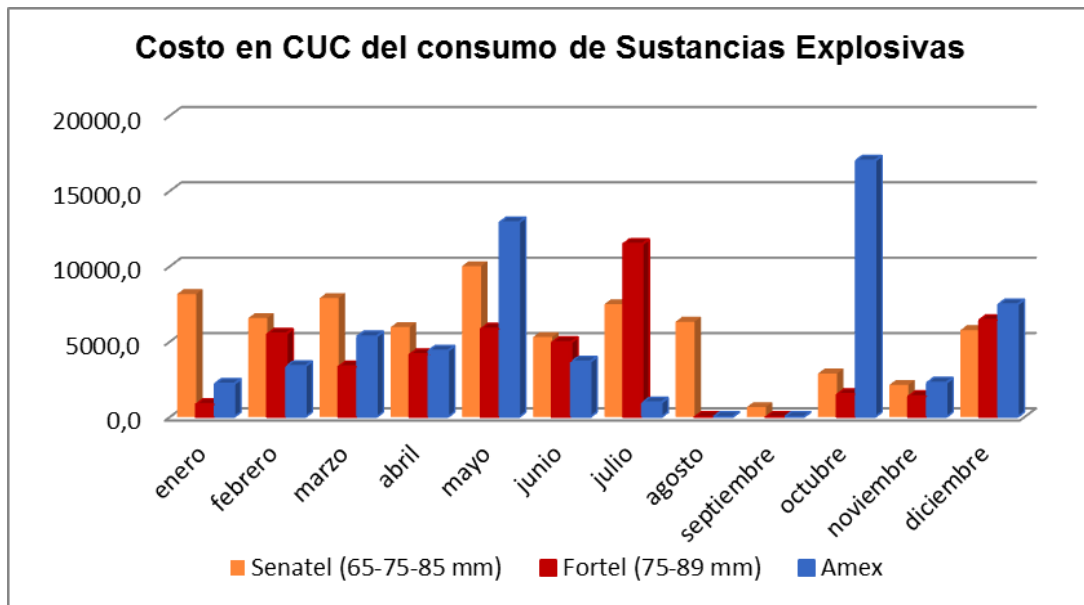
**Gráfico 5.** Costo de los componentes de voladura consumidos

A continuación se examinan los elementos que componen el gasto de material de forma independiente.

Los gráfico 6 y 7 muestran la cantidad de sustancia explosiva que fue utilizada mes a mes en el yacimiento y el costo del consumo de las mismas respectivamente.



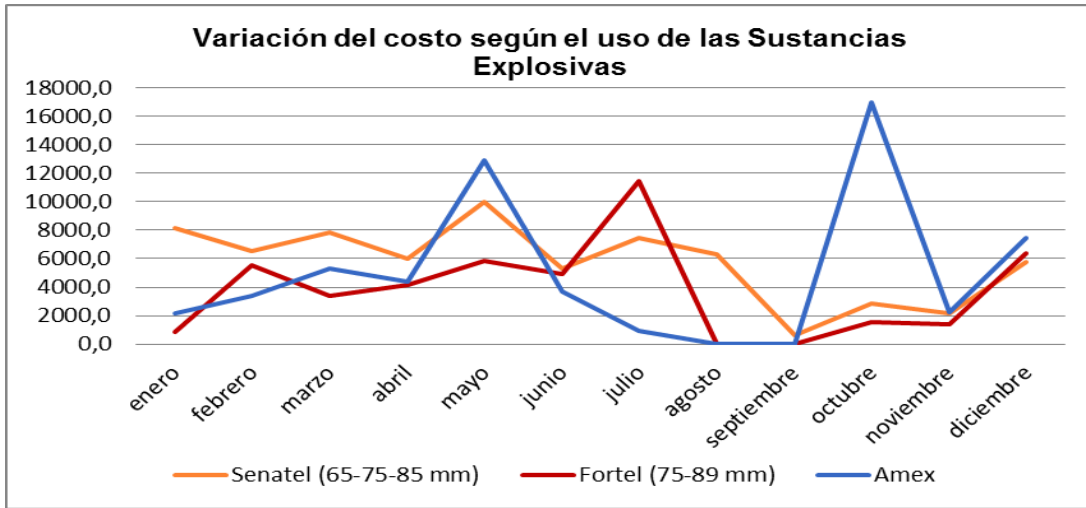
**Gráfico 6.** Cantidad de sustancia explosiva consumida



**Gráfico 7.** Costo en CUC del consumo de sustancias explosivas

En el gráfico 8 se manifiesta la variación del costo según el uso de las distintas sustancias explosivas que se utilizan en el yacimiento. Se puede observar que hay un desproporcionado uso de estas sustancias y no se tiene en cuenta su empleo en dependencia del tiempo de lluvia o de seca como está propuesto en el proyecto de explotación.

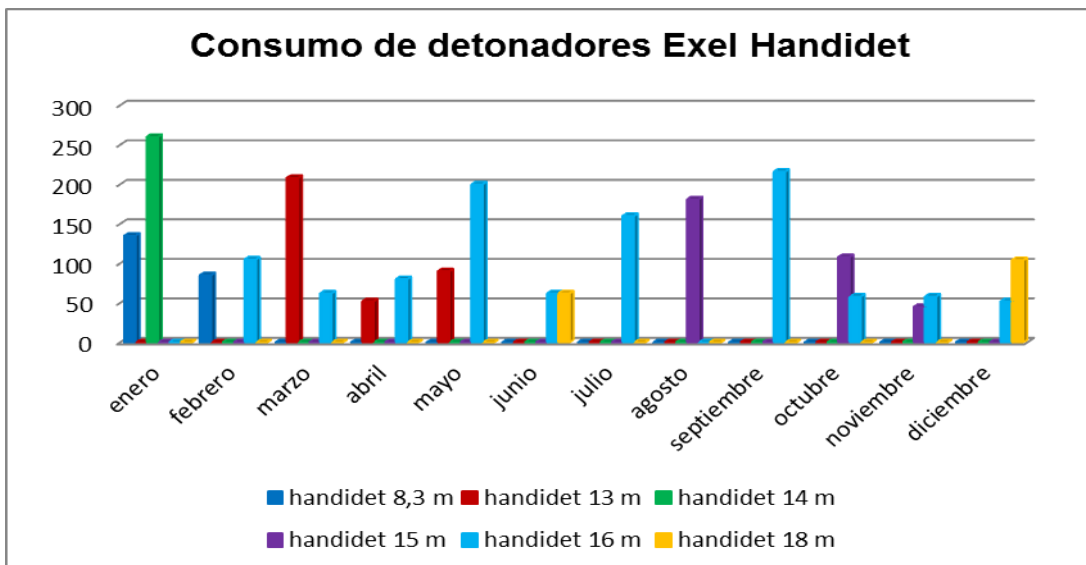
Son usadas las sustancias explosivas encartuchadas con sus diferentes diámetros (situación que se da en una misma voladura) y en cantidades que no son las estipuladas en el proyecto. Esto trae consigo que se experimente una variación en los costos que inicialmente fueron calculados para las mismas, debido a que estas tienen un precio que depende de los diámetros con las que son fabricadas, trayendo consigo una inestabilidad en el costo del servicio de perforación y voladuras.



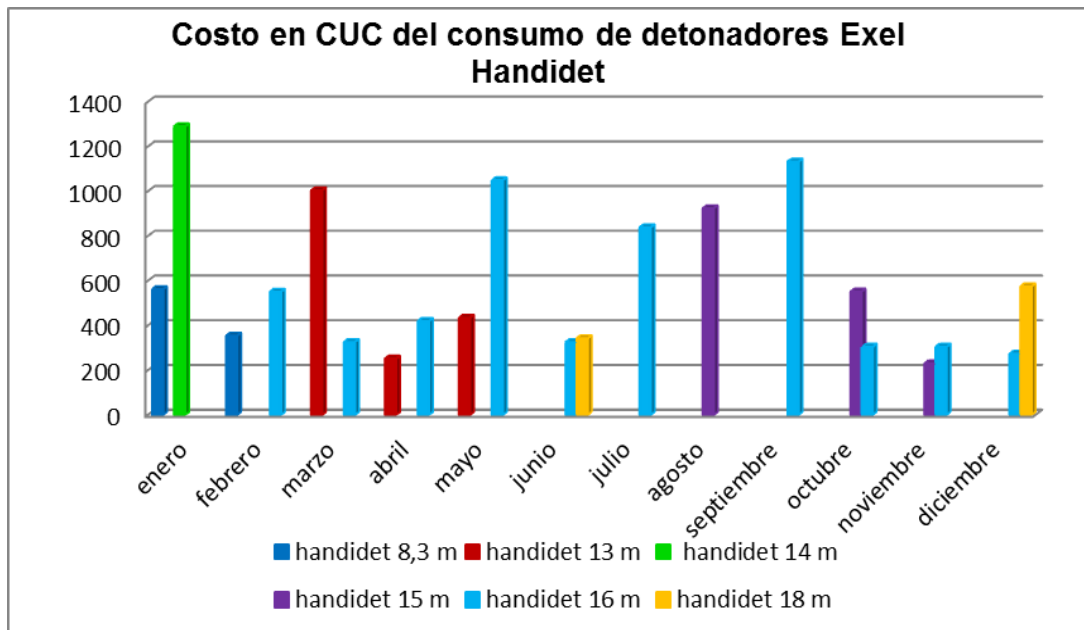
**Gráfico 8.** Variación del costo según el uso del tipo de sustancia explosiva

En los gráficos 9 y 10 se muestran las cantidades y el costo por el uso de los detonadores Exel Handidet que fueron utilizados en el yacimiento Victoria II en el transcurso del año 2016 respectivamente.

El uso adecuado de estos detonadores está dado por la suma de la profundidad del barreno, el espaciamiento entre estos y de 1 a 2 metros que se le agregan. En el yacimiento los detonadores Exel Handidet no deben sobrepasar los 14 metros de longitud, debido a que las perforaciones que se realizan no exceden los 10 metros de profundidad y el espaciamiento entre barrenos es de 3 metros.

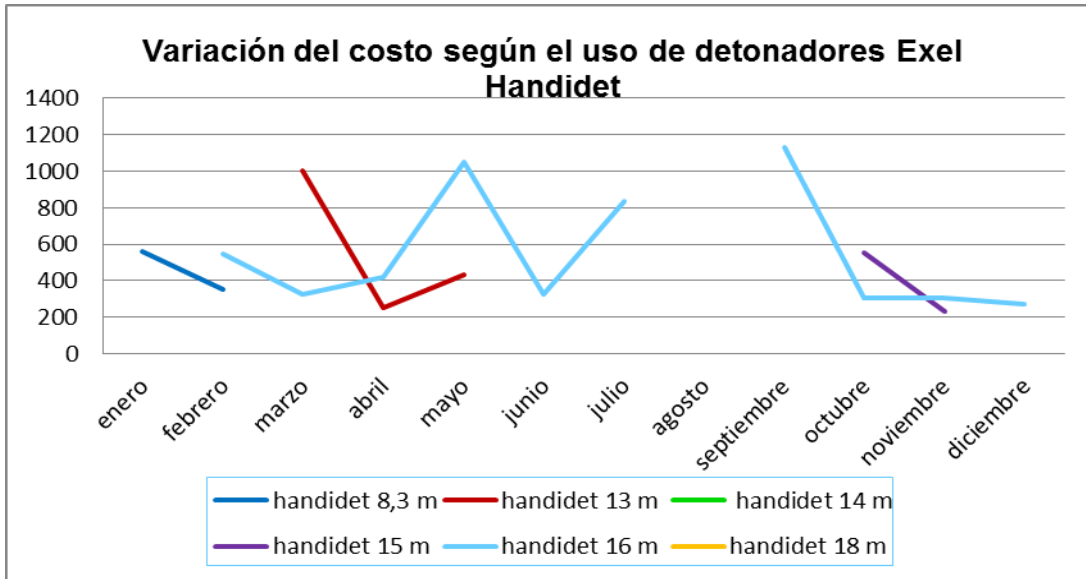


**Gráfico 9.** Cantidad de detonadores Exel Handidet consumidos



**Gráfico 10.** Costo en CUC del consumo de detonadores Exel Handidet

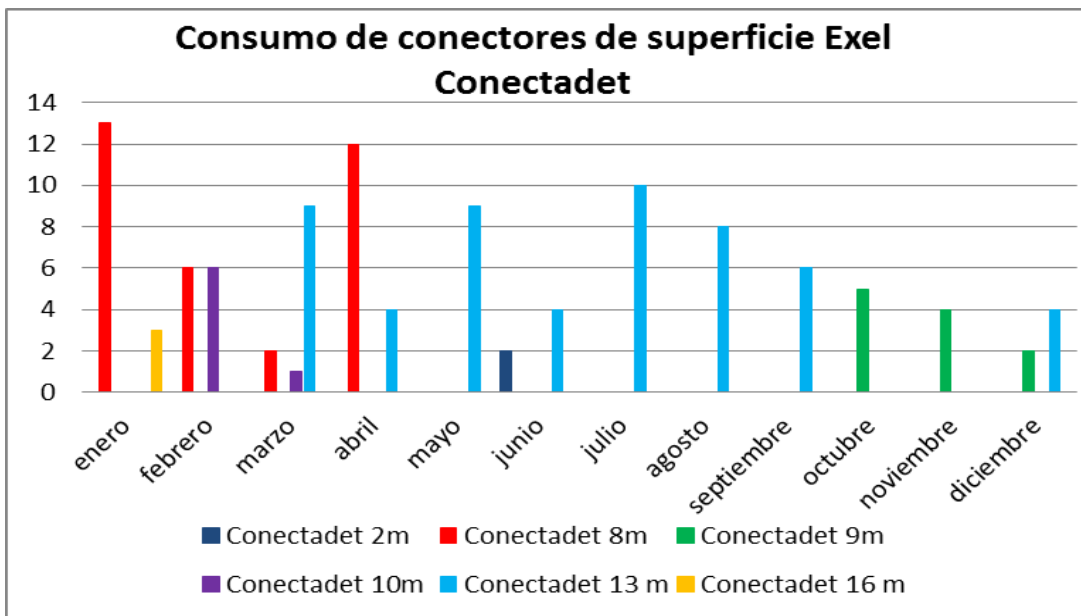
En el gráfico 11 se percibe la variación del costo según el uso de los detonadores Exel Handidet durante el año 2016, en cada mes estos fueron utilizados con las diferentes longitudes con las que son fabricados. Se utilizaron detonadores que excedían la longitud máxima que debe ser usada en el yacimiento por lo que el precio de estos es mayor, como es el caso de los detonadores de 15, 16 y 18 m, también fueron usados detonadores con longitudes menores, que en este caso reducen su precio. Esta situación se refleja en una misma voladura provocando que este uso de detonadores Exel Handidet ya sean con las longitudes mayores o menores a las que se requieren en la cantera haya provocado un desequilibrio en el costo planificado para estos medios influyendo así en la variación del costo del servicio de perforación y voladuras



**Gráfico 11.** Variación del costo según el uso de detonadores Exel Handidet

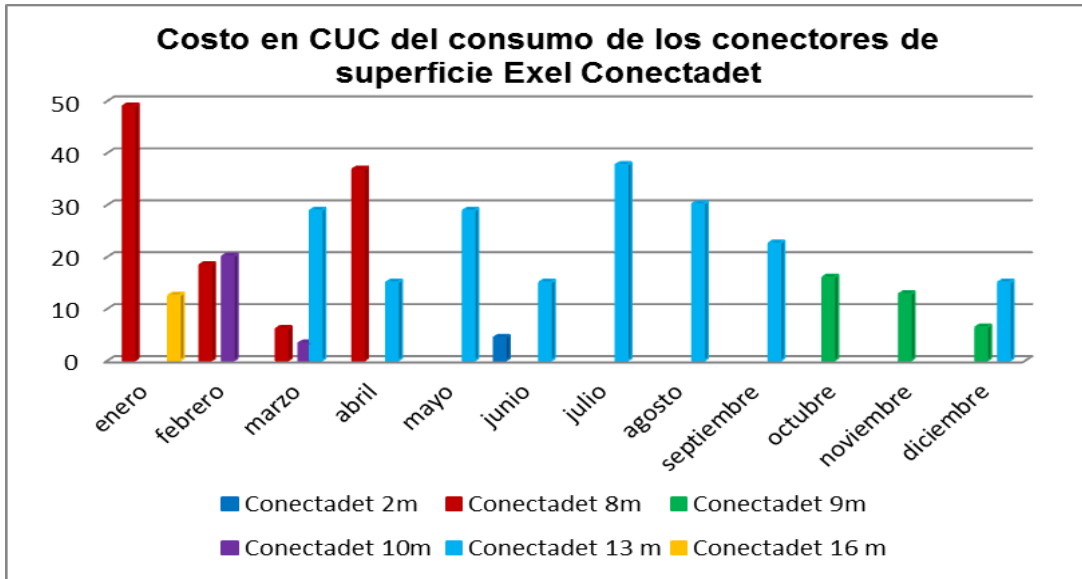
En los gráficos 12 y 13 se muestra el consumo y los costos por el uso de los conectores de superficie Exel Conectadet empleados en el yacimiento que se utilizan para la conexión entre filas de barrenos y para garantizar los retardos.

El uso de estos medios de explosión está dado por el sistema de iniciación que se emplea en la voladura. La cantidad usada está en dependencia del número de filas de barrenos y del número de voladuras que se realizan en el mes.



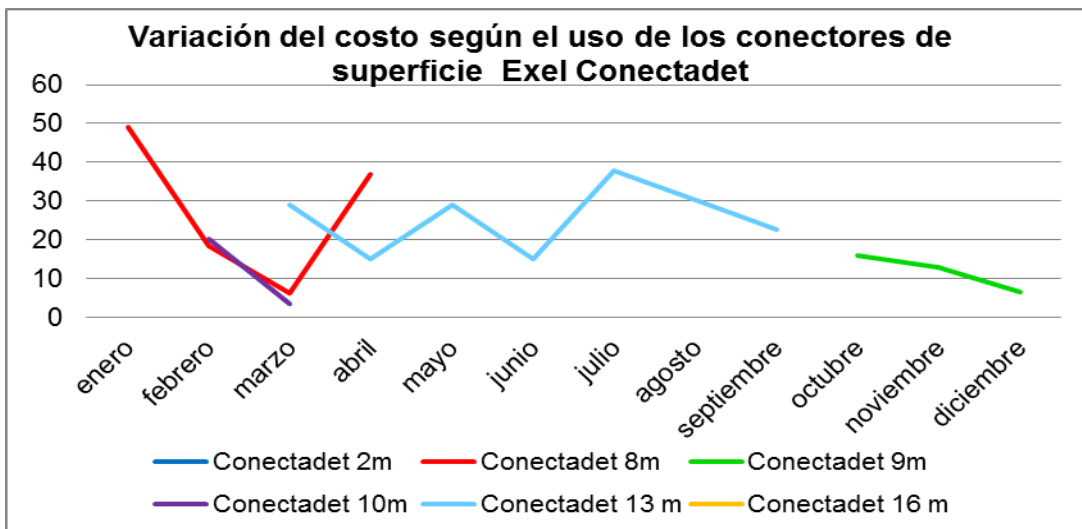
**Gráfico 12.** Cantidad de conectores de superficies Exel Conectadet





**Gráfico 13.** Costo del consumo de los conectores de superficie Exel Conectadet

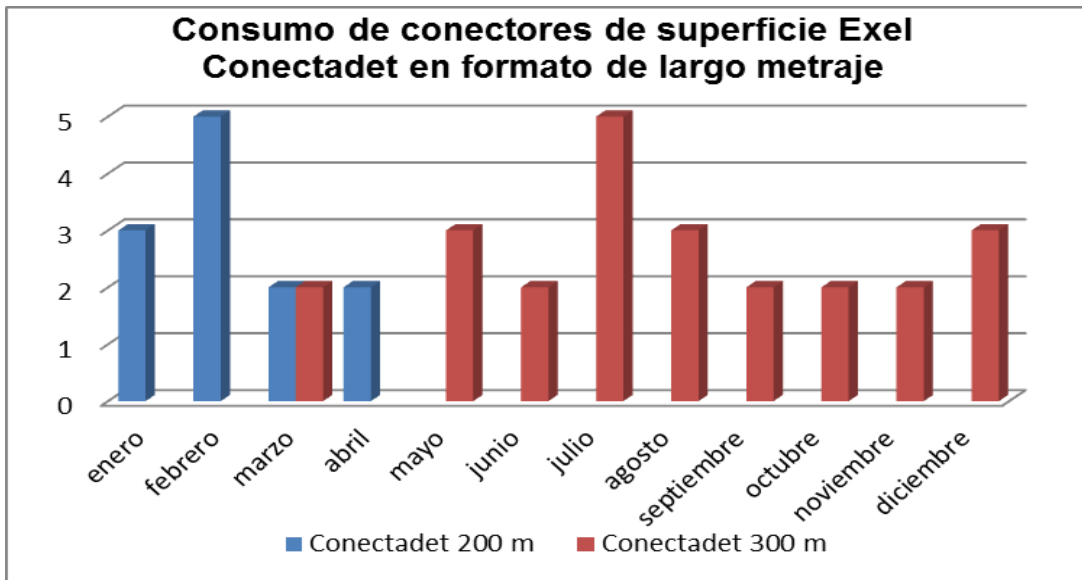
En el gráfico 14 aparece reflejada la variación del costo según el uso de los conectores se superficie Exel Conectadet. Esta variación se debe a que son utilizados en cada mes con diferentes longitudes y no con las que se proponen en el proyecto de explotación y debido a que los precios de los mismos aumentan o disminuyen en dependencia de su longitud esto provocó que los costos para los que fueron estimados experimentaran variación, provocando una inestabilidad en el costo del servicio de perforación y voladura en cada mes.



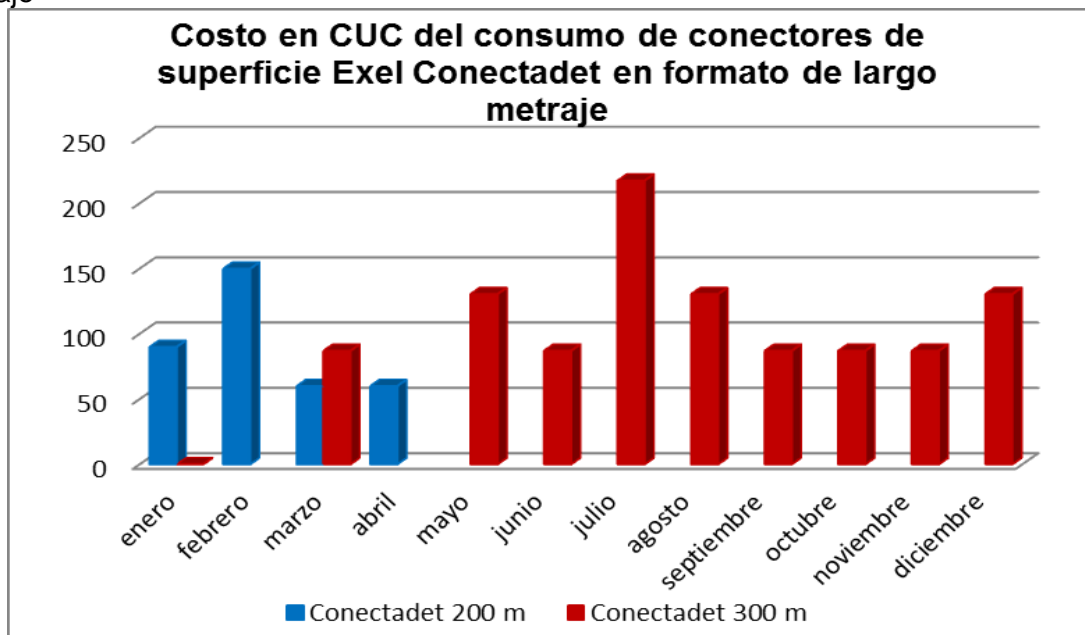
**Gráfico 14.** Variación del costo según el uso de los conectores de superficie Exel Conectadet

Los gráficos 15 y 16 muestran las cantidades y el costo del consumo de detonadores Exel Conectadet en formato de largo metraje en el yacimiento respectivamente.

En el gráfico 15 se puede observar que la cantidad de Exel Conectadet empleada se mantiene bastante estable (Exel Conectadet de 300m), el uso de estos conectores de superficies está dado por su destino, pues al iniciar voladuras desde la zona de seguridad la cantidad a emplear va a depender del número de voladuras realizadas.

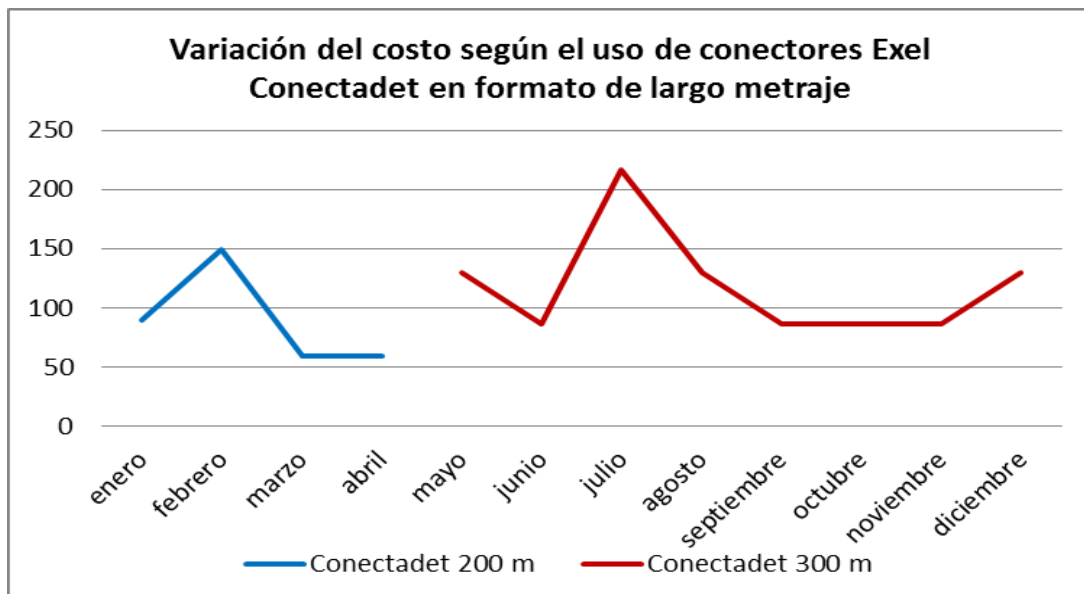


**Gráfico 15.** Cantidad de conectores de superficie Exel Conectadet en formato de largo metraje



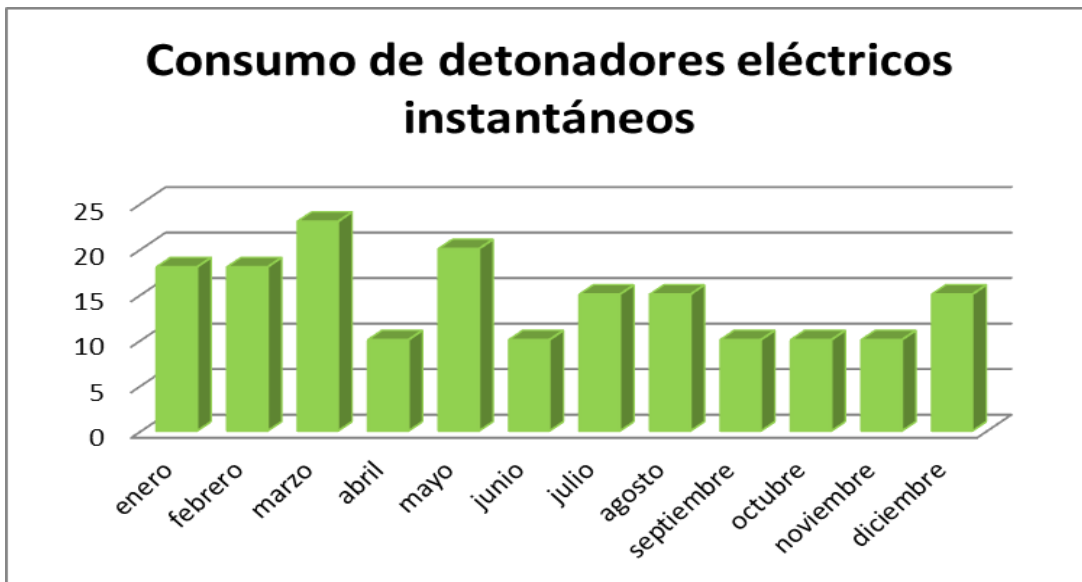
**Gráfico 16.** Costo del consumo de conectores Exel Conectadet en formato de largo metraje

En el gráfico 17 se expone la variación del costo según el consumo de los detonadores Exel Conectadet en formato de largo metraje, esta variación se debe a que dichos medios dependen de la cantidad de voladuras que se realizan en el yacimiento y no es representativa para la variación del costo del servicio de perforación y voladuras ya que estos fueron usados siguiendo las condiciones que se plantean en el proyecto, su uso estuvo en correspondencia con la cantidad que se plantea usar por cada voladura.

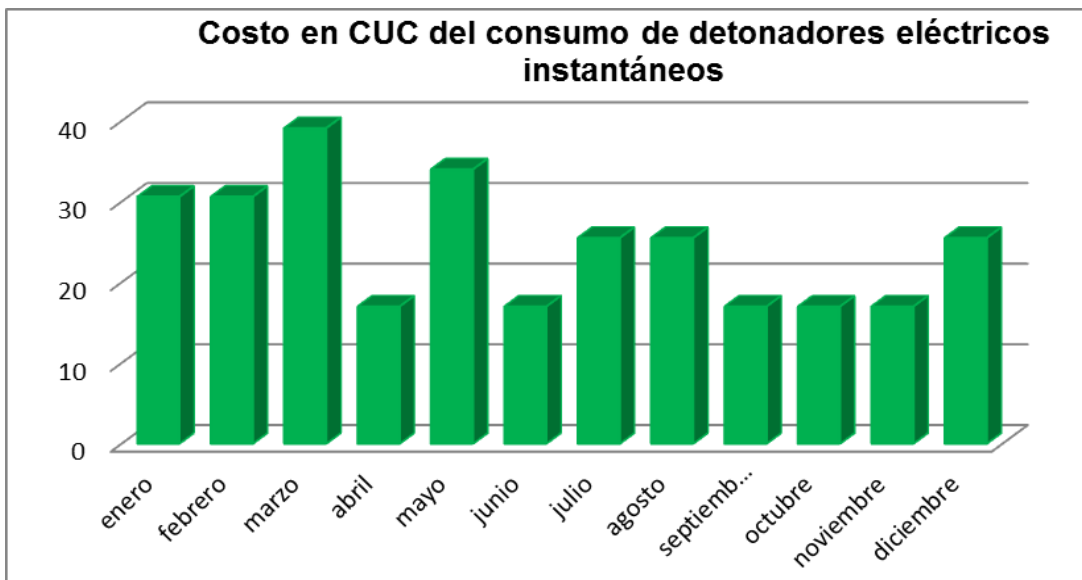


**Gráfico 17.** Variación del costo según el consumo de conectores de superficie Exel Conectadet en formato de largo metraje

En los gráficos 18 y 19 se presentan las cantidades y los costos del consumo de los detonadores eléctricos instantáneos (DEI) empleados durante el año 2016 en el yacimiento.



**Gráfico 18.** Cantidad de detonadores eléctricos instantáneos



**Gráfico 19.** Costo del consumo de detonadores eléctricos instantáneos

El uso de los detonadores eléctricos instantáneos depende de la cantidad de voladuras que se efectúen en el año. En el gráfico 20 se observa la variación del costo según el uso de estos detonadores el cual no tuvo gran peso en el costo del servicio de perforación y voladuras debido a que las cantidades empleadas están acorde con lo que se plantea el proyecto de explotación.

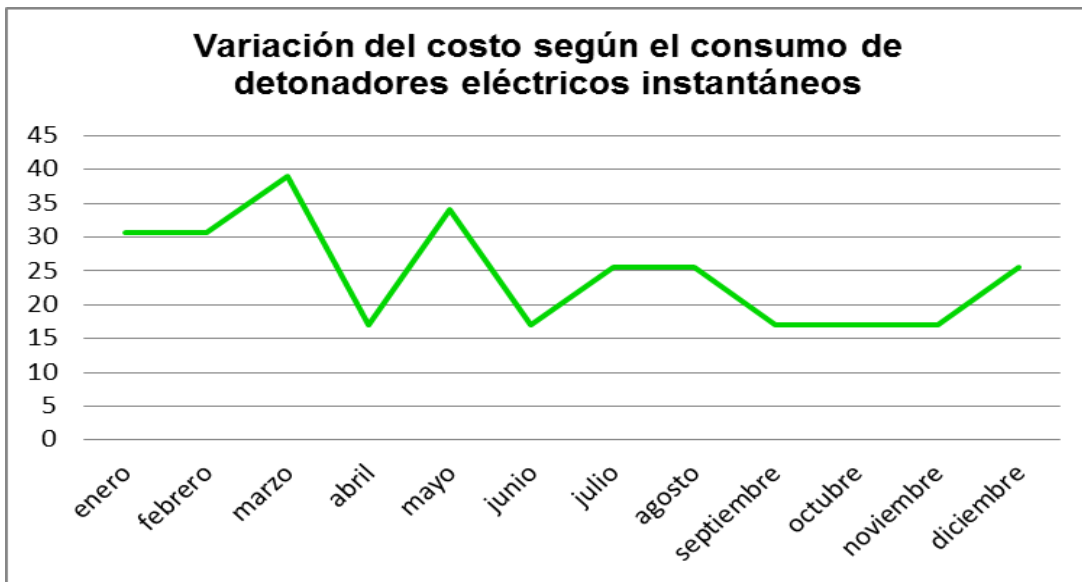


Gráfico 20. **Variación del costo según el uso de detonadores eléctricos instantáneos**

Después del análisis de los indicadores económicos que conforman el costo del servicio de perforación y voladuras en el yacimiento Victoria II se determinó que:

- ✓ El costo del metro cúbico de rajón volado, el consumo de detonadores Exel Conectadet en formato de largo metraje y los detonadores eléctricos instantáneos no influyen de forma significativa en la variabilidad del costo del servicio de perforación y voladuras.
- ✓ El costo de servicio de perforación y voladuras muestra su mayor variabilidad debido al inadecuado consumo de las distintas sustancias explosivas y de los medios de explosión como son los detonadores Exel Handidet y los conectores de superficie Exel Conectadet.

### **3.3. Determinación de los factores que provocan la variabilidad del costo del servicio de perforación y voladuras**

Después de un análisis de los elementos que componen el costo del servicio de perforación y voladuras se pudieron establecer los factores fundamentales que provocan la variabilidad del costo del mismo. Estos factores son:

1. Variación de lo contemplado en el proyecto de explotación en cuanto al uso de los componentes de voladura.



2. Falta de control de la Empresa de Canteras sobre EXPLOMAT con el uso de los componentes de voladuras.
3. Disponibilidad de los componentes de voladura en el polvorín, que está dada porque no se planifica con tiempo la necesidad de sustancias explosivas y medios de explosión para cumplimentar el proyecto, lo que posibilita que EXPLOMAT no tenga un adecuado balance de los componentes de voladura, al no poder solicitar los productos adecuados para la realización de las voladuras en el yacimiento a ULAEX S.A, y que de esta forma esta entidad fabrique lo que se necesita.

#### **3.4. Medidas correctoras**

Debido a la situación existente en el yacimiento con la variabilidad el costo del servicio de perforación y voladuras se hizo necesario proponer una serie de medidas que permitan estabilizar este costo. Dentro de estas medidas se encuentran:

- Realizar un diseño que permita determinar y controlar los componentes para cada voladura y evaluar los costos de las mismas.
- Realizar la solicitud de los componentes de la voladura con tiempo de anticipación de aproximadamente un año para que puedan ser incluido en la demanda que realiza EXPLOMAT a la Unión Latinoamericana de Explosivos ULAEX S.A.
- Emplear las tecnologías y software a fines de la Minería (software Gemcom, AutoCAD, estación total, Quarryman, Boretrack, Truview, etc.) para calcular y realizar las demandas anuales de los componentes para las voladuras en el yacimiento.



## **CONCLUSIONES**

1. La caracterización de los trabajos de perforación y voladura en el yacimiento Victoria II permitió realizar un análisis detallado de los indicadores a considerar en el costo del servicio de perforación y voladuras.
2. El análisis del comportamiento de los indicadores económicos que integran el costo del servicio de perforación y voladuras demostró que los componentes de voladura son los que ejercen mayor influencia en la variabilidad de este: teniendo mayor peso las sustancias explosivas, los detonadores Exel Handidet y los conectores de superficie Exel Conectadet.
3. Se determinaron los factores fundamentales que influyen en la variabilidad del costo del servicio de perforación y voladuras del año 2016 en el yacimiento Victoria II y se propusieron las medidas para lograr su estabilización.



---

## RECOMENDACIONES

Considerar los resultados de esta investigación en los análisis financieros de la empresa para la toma de decisiones.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, M. A. (2008). <https://es.scribd.com/>. Recuperado el 11 de junio de 2017, de doc/18979047/Análisis-y-Gestión-de-Costos-Mina-Cielo-Abierto.
2. Alvear G. Christian; López M. Mónica; Pindo M, Juan; Proaño C. Gastón. Diseño y análisis económico de la explotación a Cielo Abierto de un yacimiento de caliza; Facultad de Ingeniería de Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral de Quito, Ecuador.
3. Ceproniquel. (2016). Proyecto Minero.
4. Degregori, M. P. (s.f.). <http://sisbib.unmsm.edu.pe/>. Recuperado el 2 de junio de 2017, de bibvirtualdata/Tesis/Ingenier/zapata\_dm/
5. Departamento de ingeniería Civil de Minas, Universidad de Chile. (s.f.). <https://www.u-cursos.cl/>. Recuperado el 1 de junio de 2017, de usuario/88e17214fbd3bc896935dca577cbaec1/mi\_blog/r/Apunte\_Mineria\_Rajo\_Abierto.pdf
6. EXPLOMAT Centro. (2016) Contrato de Servicios Productivos no. 03/ 2016.
7. GUERRERO, L.E. Procedimiento para voladuras 2012.
8. Igarza, Y. (2010) *Proyecto de Explotación de la Zona 1 del Yacimiento Aguadores Este*. Trabajo de diploma ISMM, Moa, Facultad de Geología y Minería.
9. Joseph, A. (2012). <http://ingenieroenminas.com/>. Recuperado el 1 de junio de 2017, de operaciones-unitarias-carguio-y-transporte/
10. Juan Carlos Díaz Martínez, M. A. (2012). *Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada*. Ciencia de la Tierra.
11. Legrá Lobaina, A. A., Silva Diéguez, O. (2015). Elementos teóricos y prácticos de la investigación científico-tecnológica. La Habana: Editorial Félix Varela, pp.568.
12. López Jimeno, C; López Jimeno, E. (1988). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Instituto Geológico y Minero de España.
13. Muñoz López, G. (2012) *Modelo de costos para la valorización de planes mineros*. Tesis en opción al grado de Master en Minería, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas.



14. Noguel, J. A. (1998). *Fragmentación de rocas con explosivos*. La Habana: Félix Varela, pp.446
15. Parra Silva, A. (2015). *Apertura del sexto horizonte de la cantera de materiales para la construcción el Cacao*. Trabajo de diploma ISMM, Moa, Facultad de Geología y Minería.
16. Plá, F, Herrera J. (2002) Curso de laboreo I. Universidad Politécnica de Madrid, Cátedra de Laboreo de Minas.
17. Salas Falcón, R. (2015). *Proyecto de explotación de la ampliación norte del yacimiento Cantera Blanca en Bauta*. Trabajo de diploma ISMM, Moa, Facultad de Geología y Minería.
18. Sierra, D. (2016) *Apuntes de Minería a Rajo Abierto*
19. TECNOLÓGICO, I. Manual de perforación y voladuras en rocas. España: Geomineras España, 1987.
20. ULAEX , (2016) Lista de precios
21. ULAEX, Manual del Sistema no Eléctrico de Explosión de las Sustancias Explosivas.
22. ULAEX, (2015) Catálogo de explosivos
23. Vergary, I.F. (2006). [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/ingenie/arje\\_vi/cap5.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/ingenie/arje_vi/cap5.pdf). Recuperado el 3 de junio de 2017
24. Watson, R. (2008). *Situación actual y perspectiva de la explotación de yacimientos de materiales de construcción*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 20.