

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

**"Reducción de los Costos Operativos en Mina, mediante la optimización de los Estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura"**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero de Minas**, que presenta el bachiller:

**Oscar Alberto Jáuregui Aquino**

**ASESOR: Ing. Mario Cedrón Lassus**

Lima, Noviembre del 2009

## RESUMEN DE TESIS

Esta tesis se titula "Reducción de los Costos Operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura" y tiene como objetivo exponer la factibilidad de la reducción de los costos operativos en una empresa minera, aplicando para ello estándares óptimos de trabajo en las principales operaciones unitarias de minado que son la perforación y voladura, asegurando de esta manera el éxito de todo el ciclo de minado. Éxito que se logra con un sistema de control y medición exhaustiva de las operaciones y que se sintetizan en la supervisión y capacitación continua en lo concerniente a la aplicación de estándares óptimos de trabajo en la operación.

La implementación y aplicación continua de estos estándares de trabajo aseguran una operación económicamente más rentable, permiten tener un orden y estandarización de las operaciones e intensifica la seguridad en los trabajos. Sumándose a ello un "cambio" y compromiso del personal por mejorar el desempeño de su trabajo.

El desarrollo de este trabajo expone inicialmente la situación de una mina ejemplo donde no existe un adecuado sistema de productividad, control y reducción de costos operativos mina y de optimización de las operaciones de minado en función a estándares objetivos de trabajo, obteniéndose un primer diagnóstico de la situación mediante la supervisión y control en campo de las operaciones y la revisión de los presupuestos existentes de las operaciones y proyectos. La segunda etapa consiste en la propuesta de estándares objetivos de trabajo en función a estudios y pruebas ingenieriles relacionados al método de explotación de minado, la perforación y voladura idónea, el análisis de costos, la mecánica de rocas y a la seguridad laboral, considerando a todas las etapas del trabajo en mina como procesos que integran un solo sistema en el cual las operaciones de perforación y voladura son el núcleo básico del sistema.

Finalmente se exponen los beneficios que se obtienen con la implementación y el control continuo de los estándares adecuados de trabajo, beneficios reflejados en una reducción de los costos directos operativos y en general de todos los costos de las diversas áreas que integran una mina, acotándose como una de las recomendaciones la vital importancia que representa la capacitación continua al personal en las técnicas de perforación y voladura y sobretodo el rol que juegan estas como el núcleo de todo el sistema, del mismo modo la importancia de la motivación y retroalimentación al

personal que ejecutan este núcleo sobre los avances que se obtienen y lo importante de su desempeño.



TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Titulo de Ingeniero de Minas

ALUMNO : OSCAR ALBERTO JÁUREGUI AQUINO

CÓDIGO : 2000.7060.412

PROPUESTO POR : Dra. Silvia Rosas

ASESOR : Ing. Mario Cedrón

TEMA : Reducción de los Costos Operativos en Mina, mediante la optimización de los Estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura.

No. TEMA : 59

FECHA : 07 de Noviembre de 2008

OBJETIVOS : Obtener una reducción de los costos operativos de la empresa minera, aplicando para ello estándares óptimos de trabajo en las principales operaciones unitarias de minado que son la Perforación y Voladura, asegurando de esta manera el éxito de todo el ciclo de minado.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO:

El desarrollo de esta tesis permite mostrar la optimización de las operaciones unitarias de minado y por ende la reducción de los costos operativos, esencialmente las operaciones de arranque del minado que son la perforación y voladura que definirán el éxito del ciclo completo de minado, este éxito es posible mediante un control, supervisión y capacitación continua en lo concerniente a la aplicación de estándares óptimos de trabajos en la operación.

La implementación y aplicación continua de estos estándares de trabajo además de asegurar una operación económicamente más rentable, permiten tener un orden y estandarización de las operaciones, intensifica la seguridad en los trabajos y repercuten también favorablemente en los costos operativos de la planta concentradora. Sumándose a ello un "cambio" y compromiso del personal por mejorar el desempeño de su trabajo.

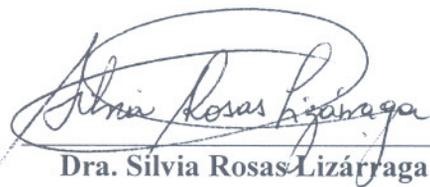


## PLAN DE TRABAJO:

La metodología de trabajo de esta tesis siguió el siguiente procedimiento:

- Revisión de los estándares y presupuestos existentes de las operaciones unitarias y los principales proyectos de minado y desarrollo.
- Supervisión y control en campo de las operaciones unitarias y elaboración del diagnóstico.
- Propuesta de estándares de operaciones unitarias.
- Informe al personal sobre los resultados obtenidos en el análisis de las operaciones unitarias, dando énfasis en la perforación y voladura y las consecuencias que traen una mala perforación y voladura.
- Capacitación al personal en técnicas de perforación y voladura (marcado de malla, paralelismo de taladros, secuencia de salida y factores de carga)
- Implementación de los estándares de perforación y voladura en las operaciones unitarias.
- Pruebas para la implementación de las mallas de perforación y distribución de la carga explosiva.
- Supervisión de la perforación y voladura y retroalimentación al personal sobre los avances obtenidos.
- Análisis de costos de la perforación y voladura.
- Conclusiones y Recomendaciones.

*Máximo: 100 páginas*



---

**Dra. Silvia Rosas Lizárraga**  
**Coordinadora**

**Especialidad de Ingeniería de Minas**



---

**Ing. Mario Cedrón Lassús**  
**Asesor**

Pontificia Universidad  
Católica del Perú  
Sección Ingeniería de Minas



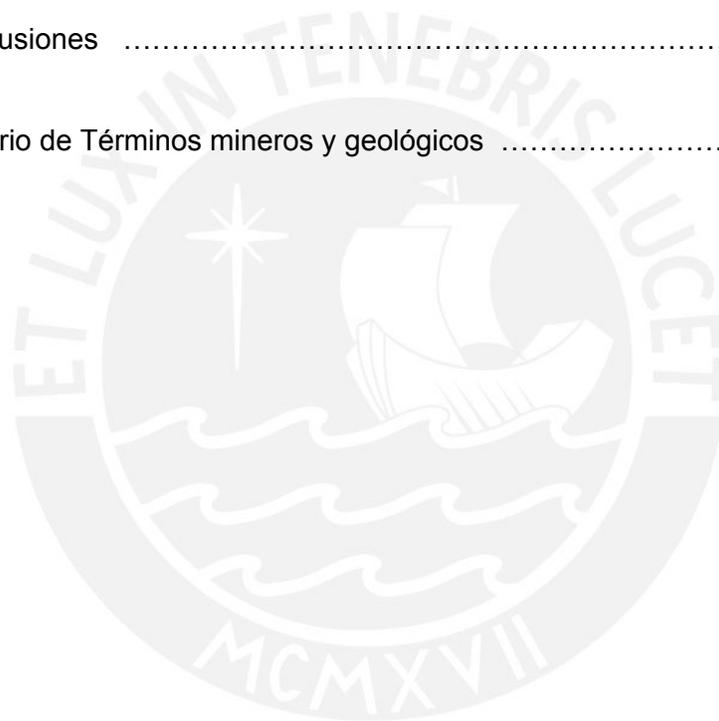
## MEMORIA DESCRIPTIVA

## ÍNDICE

	Pág.
1. Introducción .....	4
2. Objetivo .....	7
3. Metodología de Trabajo .....	8
4. Generalidades de la Mina .....	10
4.1 Geología Regional .....	10
4.2 Método de explotación .....	10
5. Identificación de los principales problemas y sus consecuencias .....	11
5.1 Principales problemas detectados en la perforación y voladura .....	12
6. Diagnostico de los procesos operativos .....	17
6.1 Rendimientos .....	17
6.1.1 Perforación .....	17
6.1.1.1 Labores de Desarrollo .....	17
6.1.1.2 Labores de Producción .....	19
6.1.2 Voladura .....	23
6.1.2.1 Labores de Desarrollo .....	23
6.1.2.2 Labores de Producción .....	24
6.1.3 Limpieza – acarreo .....	26
6.1.3.1 Labores de Desarrollo .....	26
6.1.3.2 Labores de Producción .....	29
6.1.4 Sostenimiento con perno Split set .....	30
6.1.4.1 Labores de Desarrollo .....	30
6.1.4.2 Labores de Producción .....	32

6.1.5	Sostenimiento con shotcrete .....	33
6.1.5.1	Labores de Desarrollo .....	33
6.1.5.2	Labores de Producción .....	35
6.2	Resumen del Diagnostico de los procesos operativos .....	37
7.	Evaluación del ciclo de minado por costos y Rendimientos .....	43
7.1	Rendimientos .....	43
7.1.1	Labores de Desarrollo .....	43
7.1.2	Labores de Producción .....	44
7.2	Costos .....	46
7.2.1	Labores de Desarrollo .....	46
7.2.1.1	Costo de Perforación .....	46
7.2.1.2	Costo de Voladura .....	47
7.2.1.3	Costo de limpieza-acarreo .....	47
7.2.1.4	Costo de sostenimiento con splitset .....	48
7.2.1.5	Costo de sostenimiento con shotcrete .....	48
7.2.2	Labores de Producción .....	51
7.2.2.1	Costo de Perforación .....	51
7.2.2.2	Costo de Voladura .....	51
7.2.2.3	Costo de limpieza-acarreo .....	52
7.2.2.4	Costo de sostenimiento con splitset .....	52
7.2.2.5	Costo de sostenimiento con shotcrete .....	52
7.2.3	Comparación de costos unitarios operativos del presupuesto programado y realizado .....	55
7.2.4	Costo unitario de Mina real .....	57
8.	Observaciones y Recomendaciones de la evaluación operativa .....	63
8.1	Observaciones .....	63
8.2	Recomendaciones .....	65
9.	Ciclo de Minado Optimizado y reducción de los Costos mediante la Optimización inicial de los estándares de Perforación y Voladura .....	71

9.1	Ciclo de Minado Optimizado y reducción de sus Costos .....	75
9.1.1	Labores de Desarrollo .....	76
9.1.2	Labores de Producción .....	82
9.2	Comparación de los Costos unitarios Optimizados con los No Optimizados .....	86
9.3	Reducción del Cash Cost Total .....	90
9.4	Ahorro en el consumo de explosivos .....	92
9.5	Ahorro en el consumo de brocas .....	93
10.	Conclusiones .....	94
11.	Glosario de Términos mineros y geológicos .....	97



## 1. INTRODUCCIÓN

Nuestra mina ejemplo de estudio es un yacimiento de zinc, plomo y cobre cuyo cuerpo mineralizado se presenta en mantos, se considera a estos metales por la alta criticidad que representa **la fluctuación de sus precios** en el mercado; y se demostrará que mediante la optimización de los **estándares** de las operaciones unitarias de **perforación y voladura** se podrán reducir los costos en mina y así contrarrestar el efecto negativo generado por la baja de los precios de estos metales en una mina productora de los mismos y en general de cualquier otro metal.

Como se menciona en el párrafo anterior, una variable muy importante es el precio de los metales, el cual no puede ser controlado por las empresas mineras, es por ello que actualmente todas las minas del mundo realizan grandes esfuerzos de ingeniería e incluso abren concursos públicos por obtener ideas o proyectos que permitan reducir sus costos, en especial los costos operativos y en otros casos por maximizar sus recuperaciones metalúrgicas. Sin embargo recalco que el precio de los metales es una variable que las compañías mineras no pueden manejar, es por ello que este estudio busca la optimización de las operaciones unitarias de minado y la reducción de los costos operativos de la perforación, voladura y por ende de todo el ciclo de minado para así obtener mayores márgenes del beneficio.

El proceso de desarrollo de esta tesis obtuvo en principio un diagnóstico de la situación actual de las operaciones unitarias de minado y su respectiva repercusión en los costos operativos de la empresa, proseguido esto por la aplicación de factores de éxito en la perforación y voladura que permitieron establecer propuestas de mejoras de los estándares de minado e implementación de los mismos mediante el control operativo de las operaciones en mina y por ende la disminución de los costos operativos de la empresa.

El primer paso fue la revisión de los estándares y costos del presupuesto, procedido por el monitoreo en campo de las principales operaciones unitarias de minado que son la perforación y voladura y de los siguientes procesos de extracción que son consecuencias directas, limpieza-acarreo y sostenimiento.

Esta primera etapa in situ permitió detectar deficiencias en las operaciones de perforación y voladura, siendo los errores en perforación significativos, especialmente

cuando afectan el arranque del disparo. En **perforación** se observan una serie de deficiencias debido a las desviaciones en el **paralelismo**<sup>1</sup> (por ausencia de guidores durante la perforación como una medida de control) teniéndose que el burden no se mantiene uniforme y resulta mayor al fondo del taladro, lo que afectará al fracturamiento y al avance esperado; los **espaciamientos irregulares entre taladros** propician una fragmentación gruesa o que el disparo sople<sup>2</sup>, la **irregular longitud de los taladros** influye en la reducción del avance esperado, especialmente si los taladros de alivio son de menor longitud que los de producción, la **intercepción de taladros** afectará a la distribución de la carga explosiva en el cuerpo de la roca a romper propiciado que se sople el disparo, **insuficiente diámetro o número de taladros de alivio** esto produce que no se tenga una adecuada cara libre donde se puedan reflejar las ondas de tensión que son las que provocan la fragmentación de la roca, provocando que se sople el disparo o que se produzcan tiros cortados.

En la operación de **voladura** que está directamente relacionada a la perforación se observa también una serie de deficiencias, empezándose por un **consumo excesivo de explosivos y una mala administración de los mismos**, este problema operativo de Mina se origina por una supervisión que genera vales de pedido de explosivos sin ningún criterio técnico, y sin haber analizado a detalle la malla de voladura que se disparará. Del mismo modo los bodegueros de los polvorines mina suministran cantidades excesivas de explosivos sin un patrón técnico de control. Reflejándose este exceso de consumo de explosivos en el indicador conocido como factor de potencia y/o factor de carga<sup>3</sup>.

**La ineficiente administración de explosivos por parte de logística a Mina** se manifiesta por la suministración de lotes de explosivos y accesorios sin un adecuado control de la degradación o envejecimiento de los mismos, ya que se detectaron lotes

---

<sup>1</sup> Paralelismo en perforación de minería se denomina al paralelismo geométrico entre las direcciones de las rectas de los taladros que perforan una misma estructura mineralizada o sección.

<sup>2</sup> Disparo soplado, hacen referencia a las voladuras que fueron ineficientes, ya que en ellas algunos de los taladros cargados no explotaron o ninguno de los taladros cargados de la malla de voladura explosiono.

<sup>3</sup> El Factor de Potencia y/o Factor de carga es la relación entre el número de kilogramos de explosivos empleados en una voladura determinada y el número de toneladas a romper producto de esa voladura o el volumen correspondiente en metros cúbicos a romper. Las unidades son kg/TM o kg/m<sup>3</sup>

de explosivos y accesorios de voladura con su vida útil vencida, por ejemplo emulsiones con un tiempo de vida superior a los 6 meses y retardos con un tiempo mayor a un año. Otras deficiencias detectadas en voladura están referidas al **carguío de la columna explosiva** la cual en promedio debería ser el 66% del taladro, el **secuenciamiento de los tiempos de retardo** en la malla de voladura debe iniciarse siempre desde la cara libre y en orden progresivo hasta el último grupo de taladros que explotará y el amarre debe realizarse en “V”, esto permitirá obtener un montículo central del material roto producto del disparo, lo cual es conveniente para la optimización del rendimiento del equipo de limpieza, y aprovechar una adecuada distribución de la energía en la malla de voladura.

Además del proceso de optimización en las operaciones de perforación y voladura, se detectaron puntos claves a mejorar en las siguientes etapas del proceso de minado como es en la limpieza-acarreo, se ha observado que las cámaras de acumulación y Ore Pass<sup>4</sup> están muy alejadas, motivo por el cual el equipo LHD realiza un acarreo de 200 a 400 m haciendo que su ciclo sea ineficiente.

El sostenimiento se realiza con shotcrete vía seca y pernos splitset, sin embargo se presentan serias ineficiencias debido a la calidad de los insumos y a las malas prácticas de lanzamiento del shotcrete, lo cual aumenta el factor de rebote a 48% por encima del estándar en vía seca 30%.

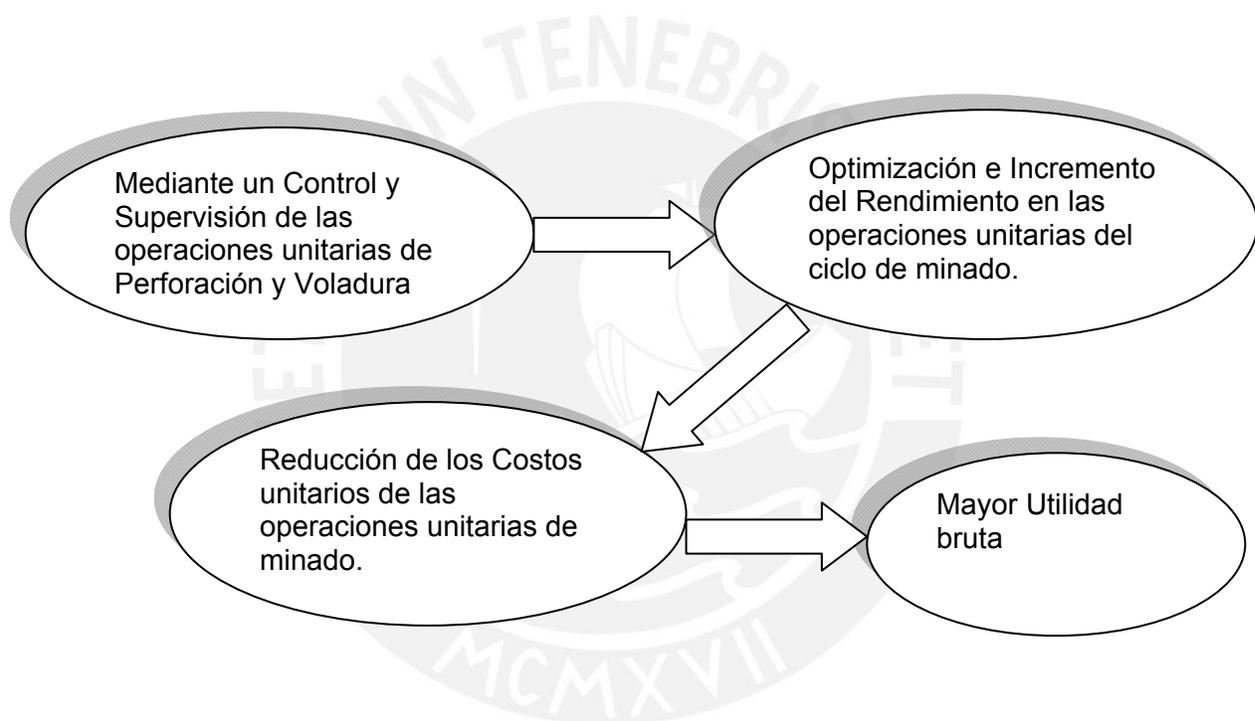
En lo que respecta a costos se ha observado que las operaciones unitarias más ineficientes son perforación, voladura y sostenimiento, y representan el mayor costo dentro del costo total del ciclo de minado.

---

<sup>4</sup> Ore pass, es un conducto de extracción inclinado por donde traspasa el mineral de una ubicación a otra.

## 2. OBJETIVO

El objetivo de esta tesis es obtener la reducción de los costos operativos<sup>5</sup> de mina, aplicando para ello un control y seguimiento operativo de las operaciones unitarias de perforación y voladura. Control que permite la optimización de los estándares de perforación y voladura, y el incremento del rendimiento<sup>6</sup> en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado. Lográndose de esta manera que la empresa minera obtenga una mayor utilidad bruta<sup>7</sup>.



<sup>5</sup> Los costos de producción (también llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener una línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento, y son la suma del costo primo (costo por materias primas más mano de obra) y los gastos de fabricación que agrupa las erogaciones necesarias para lograr esa transformación, tales como espacio, herramientas, equipos, etc. En una compañía, la diferencia entre el ingreso (por ventas y otras entradas) y el costo de producción indica el beneficio bruto.

<sup>6</sup> Rendimiento, en un contexto empresarial, el concepto de rendimiento hace referencia al resultado deseado efectivamente obtenido por cada unidad que realiza la actividad, donde el término unidad puede referirse a un individuo, un equipo, un departamento o una sección de una organización.

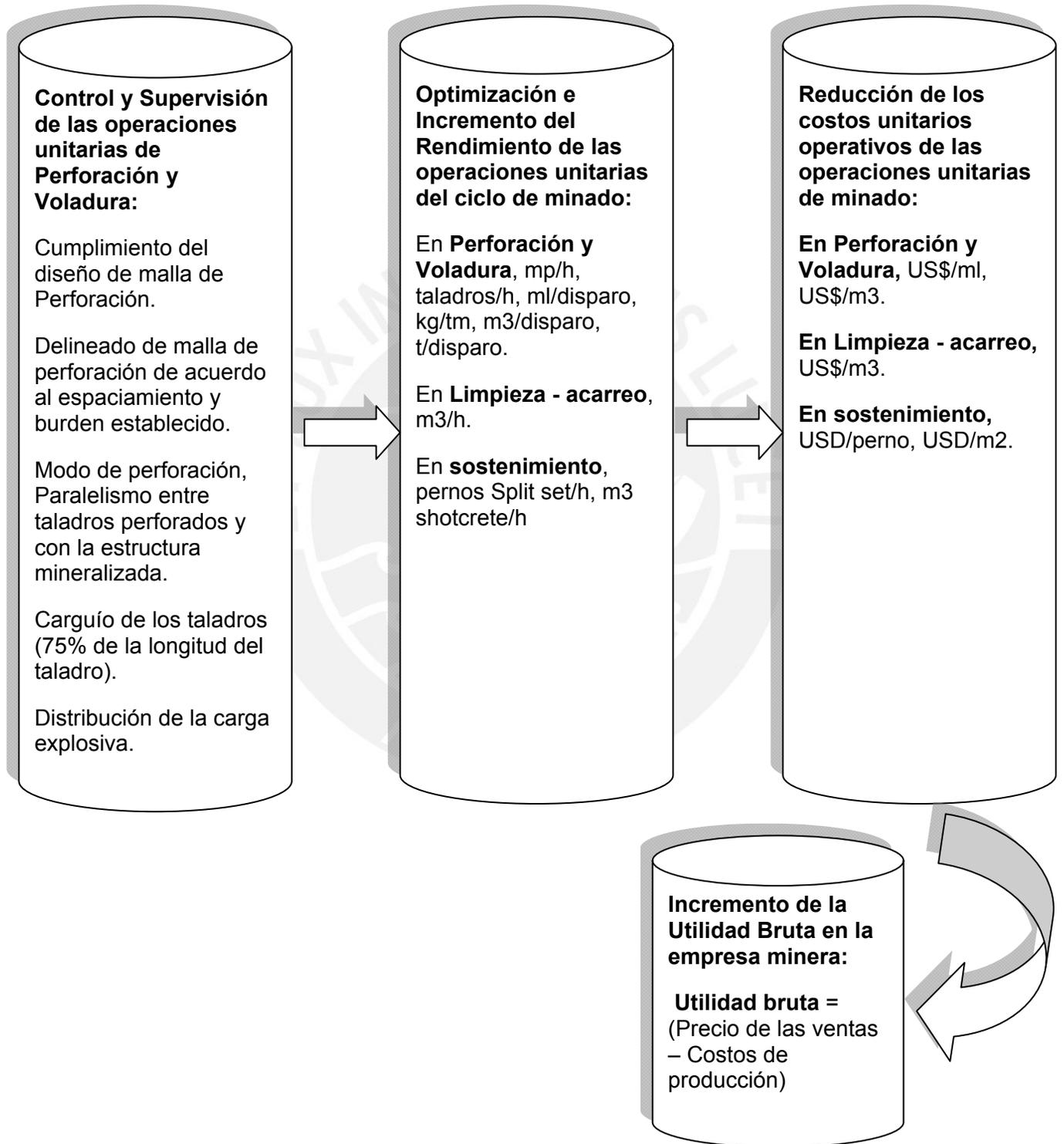
<sup>7</sup> Utilidad bruta es la diferencia entre el precio de venta de un bien o servicio y los costos de producción de un producto.

### 3. METODOLOGIA DE TRABAJO

La metodología de trabajo de esta tesis siguió este procedimiento:

1. Descripción del título de la tesis y especificación del Tema de tesis. “Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares en las operaciones unitarias de perforación y voladura”. Hipótesis a demostrar de la tesis.
2. Explicación del Objetivo de la tesis e importancia de su realización.
3. Revisión de los antecedentes del problema e identificación de variables. Identificación in situ de problemas y deficiencias en las operaciones unitarias de perforación y voladura, y de los estándares y presupuestos existentes de las operaciones unitarias de minado. Diagnóstico de la situación actual de la operación minera.
4. Evaluación de la situación actual de la operación minera. Cuadros de análisis comparativos de los estándares de minado de cada uno de los procesos productivos y sus respectivos costos unitarios.
5. Implementación de los factores de éxito para la optimización de los estándares en las operaciones unitarias de minado que conllevaron a la reducción de los costos unitarios de mina y de todo el ciclo de minado
6. Evaluación de los resultados obtenidos. Montos de ahorro y de reducción de los costos operativos.
7. Conclusiones de la Tesis.
8. Índice analítico de la tesis. Elaboración del índice de esta tesis que da una visión general de las partes de este trabajo.
9. Bibliografía. Se registran las obras consultadas que tratan del tema en estudio.

Grafico 4, Secuencia de Optimización de los estándares de Perforación y Voladura para obtener una Reducción en los costos operativos en Mina.



## 4. GENERALIDADES DE LA MINA

### 4.1 Geología Regional

Nuestro yacimiento mineral ejemplo será clasificado como un “*yacimiento del tipo Mississippi Valley*”, teniendo una paragénesis de esfalerita, galena, roca de caja carbonatada y en mayor proporción dolomitas.

Esta mina se emplaza dentro de las calizas Pucará. Siendo de origen diagenético y se ubica en rocas calcáreas de edad mesozoica. Los estratos de caliza buzanan al oeste y la mineralización se presenta concordante a dichos estratos.

Estos “*yacimientos del tipo Mississippi Valley*” que corresponden a yacimientos de sulfuros de Pb-Zn-Cu aparecen encajados en formaciones carbonatadas, en forma de masas más o menos continuas lateralmente y de potencia muy variable, y la mineralización suele ir asociada a encajante dolomítico y son el resultado de la interacción entre fluidos mineralizados y la roca carbonatada; al tratarse de fluidos por lo general ácidos, su introducción en la roca se ve favorecida por la reactividad de sus componentes (calcita y/o dolomita) frente a la acción de estos fluidos.

### 4.2 Método de explotación

El método de explotación será un minado mecanizado mediante cámaras y pilares con corte y relleno ascendente con perforación tipo breasting<sup>8</sup> empleándose equipos electro hidráulico con taladros de 10 pies; teniéndose mantos con potencias superiores a los 3m. Las labores de preparación consisten en galerías longitudinales al eje del “block” hasta un crucero de extracción, “raise bores” de ventilación y “ore pass” de nivel a nivel para la extracción de mineral. Los block de explotación tienen 120m de longitud y el minado es con cortes transversales de 6m de ancho por 6m de altura con pilares alternados de 4m de ancho, finalmente se minan también estos pilares en sentido longitudinal quedando pilares unitarios de 4m x 4m. Las operaciones unitarias que conforman el ciclo de minado son la perforación, voladura, limpieza, acarreo y relleno.

---

<sup>8</sup> La perforación tipo breasting, es una perforación con dirección horizontal donde la cara libre se ubica en la parte inferior de la malla de perforación en breasting. Es una perforación de producción en mineral.

Esta mina se caracterizará por ser un yacimiento con una alta presencia de caudal de agua, por ende la operación de voladura en todas las labores de producción y desarrollo se realizará con emulsión explosiva<sup>9</sup> y no con Anfo<sup>10</sup>.

## 5. IDENTIFICACION DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS Y SUS CONSECUENCIAS

Se dice que una voladura básicamente es mal realizada cuando:

1. Se obtiene material con granulometría muy gruesa.
2. El tonelaje de material producto del disparo es inferior a lo esperado.
3. El avance por disparo (metros de avance por disparo) es inferior a lo esperado, y trae como consecuencia que el rendimiento de los equipos de acarreo y transporte como scoops y volquetes disminuya porque al trasladar muchos “bolones”<sup>11</sup> el factor de llenado de los equipos de transporte disminuye, y se afecta a la programación de trabajo de los equipos.
4. Se debe realizar voladuras secundarias producto de la presencia de tiros cortados y soplados<sup>12</sup>, bancos de gran dimensión que generan una condición sub estándar.

Trayendo todo esto como consecuencia que los costos unitarios de perforación y voladura, y de todo el ciclo de minado aumente. Lo explicado constituye un problema generalizado en nuestra mina ejemplo de estudio.

---

<sup>9</sup> Emulsión, son del tipo inversado “agua en aceite”, componiéndose de dos fases líquidas, una continua constituida básicamente por una mezcla de hidrocarburos y otra dispersa constituida por microgotas de una solución acuosa de sales oxidantes, con el nitrato de amonio como principal componente.

<sup>10</sup> Anfo, es un agente explosivo de bajo precio cuya composición es 94.3% de Nitrato de Amonio y 5.7% de gas-oil, que equivalen a 3.7litros de este último por cada 50kg de Nitrato de Amonio.

<sup>11</sup> Llámese Bolones en minería a los fragmentos de roca de gran diámetro que no pueden pasar por las parrillas de los echaderos, productos de una mala perforación y voladura y que acarrear problemas operativos y sobrecostos en el ciclo de minado.

<sup>12</sup> Tiros cortados y soplados hacen referencia a las voladuras que fueron ineficientes, ya que en ellas algunos de los taladros cargados no explotaron o ninguno de los taladros cargados de la malla de voladura explosiono

Como consecuencia de los problemas mencionados **el costo de voladura** se incrementa debido a la **sobre voladura** que se debe realizar, siendo para el caso ejemplo de una mina que mensualmente entrega a planta un promedio de 75 000 TM y son 850 TM que nuevamente tienen que ser procesadas, es decir que se les debe trasladar desde la parrilla de la tolva de gruesos a un punto seguro en exterior mina donde se les debe aplicar voladura secundaria para alcanzar la granulometría de 6" para poder pasar a la etapa de chancado primario en planta. A esto se suma las voladuras donde se tienen tiros cortados y soplados que se traduce mensualmente en volver hacer la voladura de un promedio de 3000 TM al mes (valor que puede interpretarse como la presencia de un disparo de 100 TM soplado por día durante todos los días del mes en toda la mina).

### 5.1 Principales problemas detectados en la perforación y voladura

Entre los principales problemas detectados en las operaciones unitarias de perforación y voladura se destacan:

- i. Incumplimiento del **Diseño de malla de perforación**, se tiene un diseño para diferentes tipos de roca, y sobre el cual se ha realizado el presupuesto, sin embargo no se cumple éste.
- ii. Deficiencias en el **Modo de perforación**. Falta de paralelismo de los taladros con el buzamiento de la estructura mineralizada y con las cajas (caja techo y caja piso), longitud incompleta de los taladros perforados, variaciones en la inclinación de los taladros, inadecuada cara libre o insuficientes taladros de alivio, inadecuados espaciamiento y burden. El modo de Perforación está directamente relacionado a la falta de la **demarcación o delineado de la malla de perforación** (pintado de los puntos de perforación que conforman la malla de perforación). La demarcación de los puntos a perforar asegura que el espaciamiento y el burden sean uniformes y adecuados, además de que permite delimitar la sección a perforar y que la carga explosiva y su energía se distribuyan de manera uniforme.
- iii. Deficiencias en el **Secuenciamiento de los tiempos de retardo en la malla de voladura**, el secuenciamiento de los tiempos de retardo en los faneles debe

iniciarse siempre desde la cara libre y en orden progresivo hasta el último grupo de taladros que explotará. Del mismo modo es importante resaltar que el orden del secuenciamiento de las filas de los taladros que explotaran, debe ser realizado con un amarre en “V” de los faneles, esto permitirá obtener un montículo central del material roto producto del disparo, lo cual es conveniente para la optimización del rendimiento del equipo de limpieza, y aprovechar una adecuada distribución de la energía en la malla de voladura.

- iv. **Inadecuada columna explosiva**, se detectó que a los taladros se les cargaba a más 75% de la columna explosiva llegando incluso al 100% de la columna. Esto lo realizaban creyendo que así “se aseguraba obtener un buen disparo”, y por la falta de conocimiento por parte de la supervisión encargada. Siendo lo adecuado cargar en promedio las 2/3 partes de la columna explosiva, es decir el 66.6%.
- v. **Mala Distribución de la carga explosiva<sup>13</sup> en Mina**. El problema comenzaba desde que el supervisor realizaba o generaba el vale de pedido de explosivos siempre con las mismas cantidades y no analizaba u observaba detalladamente la malla de perforación y/o voladura que se dispararía. Sumado a esto se detectó un inadecuado despacho de explosivos en los polvorines, ya que los bodegueros no despachaban la cantidad específica de explosivos para una determinada voladura sino que repartían el explosivo redondeando la cantidad a un valor mucho mayor, que se materializaba en el despacho de cajas de explosivos (cajas con su valor completo de explosivos directo de fábrica).
- vi. **Inadecuado control de la degradación o envejecimiento de los explosivos, y de los posibles errores de fabricación**. Se detectaron lotes de explosivos y accesorios de voladura con su vida útil vencida, pero que todavía el área de logística de sus almacenes principales continuaba distribuyendo a los polvorines del área Mina para su utilización. Por ejemplo se tenían lotes de emulsiones explosivas con tiempo de fabricación superior a los 6 meses y retardos con un tiempo mayor a un año.

---

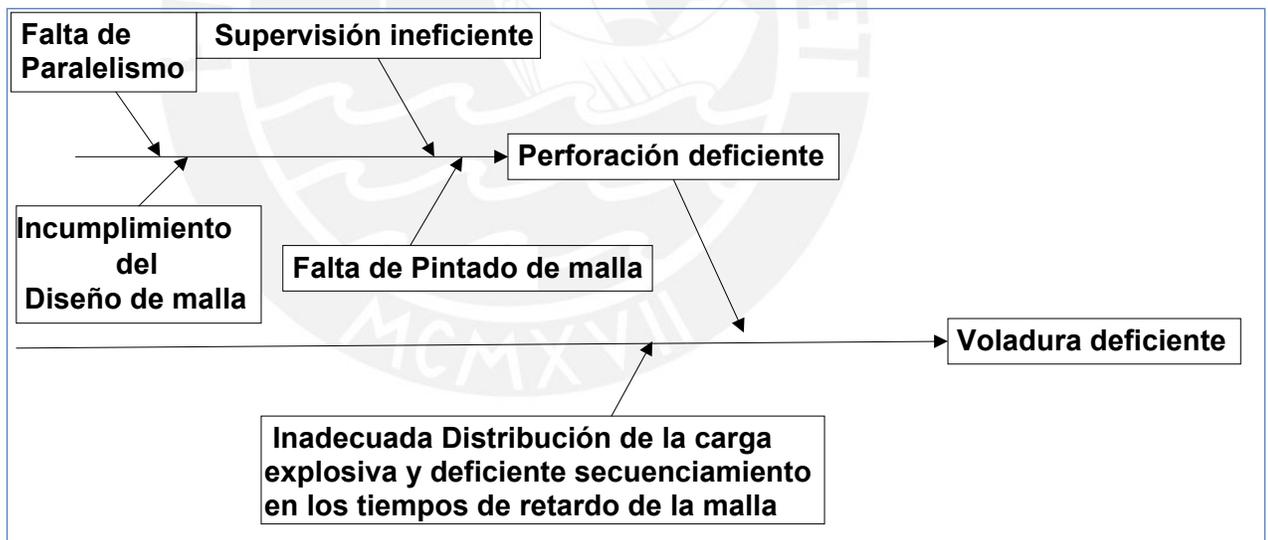
<sup>13</sup> La Distribución de la carga explosiva es la cantidad de explosivo y accesorios de voladura que se reparten del polvorín a las diferentes labores de trabajo previo una generación del vale de salida de explosivos.

Así mismo para evitar la Dispersión<sup>14</sup>, se debe emplear retardos con numeración impar o par en orden progresivo de acuerdo a la salida en “V” de los taladros que explosionaran. Ya que por la dispersión se puede tener un error de +-5%, pudiendo llegar incluso a 10%.

- vii. **Falta de continuidad en el mantenimiento y/o afilamiento de las brocas de Perforación.** Se cuenta con aguzadora de brocas, sin embargo no se emplea continuamente y tampoco se ha centralizado estratégicamente la ubicación de las aguzadoras de brocas para lograr afilar continuamente todas las brocas de todos los jumbos que diariamente están perforando en mina.

En el gráfico 2, se puede observar el diagrama Causa Efecto que ocasionan una perforación y voladura ineficiente.

**Gráfico 2. Diagrama Causa-Efecto de una voladura ineficiente**

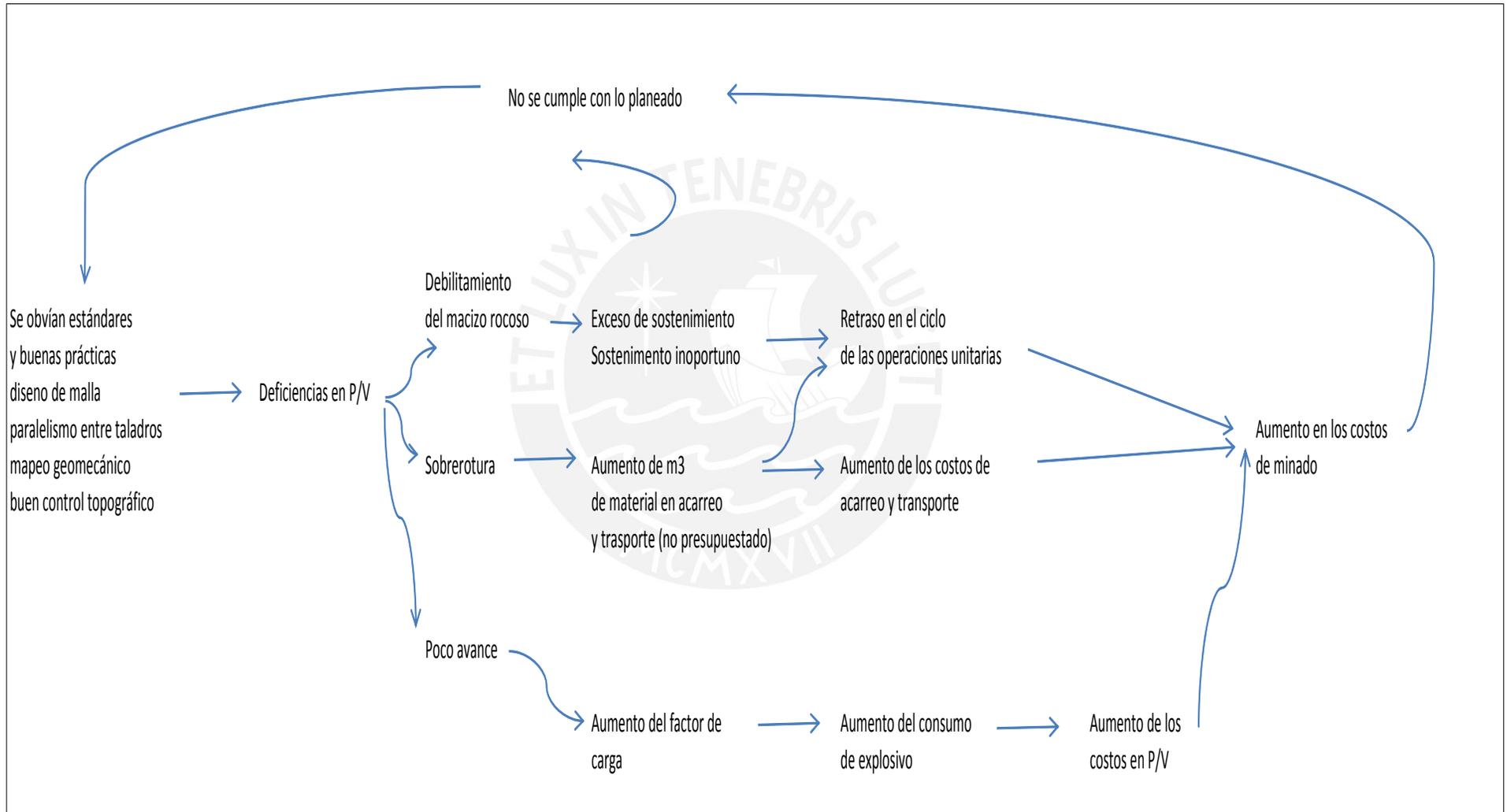


<sup>14</sup> Dispersión, hace referencia a que debido a la delicada fabricación y propia constitución de los elementos de retardo, se producen diferencias de tiempo entre detonadores individuales de las misma serie, tipo y lote de fabricación, lo que se conoce como dispersión del valor real con respecto al valor nominal. Por ejemplo un retardo con tiempo nominal de 20ms, puede salir con 22ms.

En el gráfico 3, se puede observar el diagrama de implicancias y secuencias repetitivas producto de una mala perforación y voladura.



Gráfico 3. Diagrama de implicancias y secuencias repetitivas por una mala perforación y voladura.



## 6. DIAGNOSTICO DE LOS PROCESOS OPERATIVOS

En este capítulo se presenta el diagnostico obtenido de las operaciones de perforación y voladura en sus diversas aplicaciones operativas.

### 6.1 Rendimientos

#### 6.1.1. Perforación

##### 6.1.1.1 Labores de Desarrollo

***“La perforación es el inicio de las operaciones unitarias y de la cual depende el éxito de las demás operaciones unitarias”.***

En esta mina ejemplo se presupuestó realizar los trabajos de avance con barra de 12 pies de longitud, sin embargo se viene realizando la perforación con barra de 14 pies, debido a que la supervisión del área de operaciones mina sustentan que “con una barra de mayor longitud se logrará un mayor avance”. Esto podrá ser correcto si primero se optimiza el control de los principales parámetros de perforación.

En lo que respecta a la malla de perforación se presupuesto realizar una malla de perforación con arranque del tipo corte quemado<sup>15</sup> de 28 taladros de 0.6m de espaciamiento y 0.5m de burden, sin embargo en la práctica se viene realizando una malla de corte quemado de 34 taladros de 0.45m de espaciamiento y 0.4m de burden.

La malla de perforación presupuestada, fue inicialmente aplicada en el campo sin embargo no daba los resultados adecuados, quedando una superficie no uniforme luego de la voladura en lo que se refiere a corona y hastiales, además el avance era menor al 75%.

En la práctica se perfora 3.3 metros obteniéndose un avance de 3.04m, lo cual es el 91.7%. Al perforar con barra de 14 pies, en un roca de tipo I - II, se puede tener una longitud efectiva de perforación de 3.6 m mínimo y obtener un avance de 3.29m siempre y cuando se tenga un buen diseño de malla, una buena distribución de

---

<sup>15</sup> Corte quemado es un tipo de arranque que consiste en perforar 3 o más taladros paralelos entre si y paralelos al eje de la galería. Este tipo de arranque se usa generalmente en terreno duro, dejando uno o algunos taladros vacios con la finalidad que se constituyan en cara libre, a fin de que la roca triturada se expanda hacia el espacio libre, logrando su expulsión, los taladros del corte deben ser los más profundos.

taladros (lo cual se logra con el trazado de la malla y con el control del paralelismo entre los taladros) y una buena distribución de carga explosiva.

Finalmente, en lo que respecta al tiempo de perforación se puede observar que existen demoras por concepto de maniobras entre taladro y taladro, esto se debe a que la superficie del frente no es uniforme producto de un mal avance y a que el operador tiene que calcular la posición del taladro, lo cual se evitaría si se pintara la malla siempre.

Por otro lado la velocidad de perforación no es la óptima, debido a la antigüedad propia de la máquina, y a la falta de paralelismo. Con un buen paralelismo se puede llegar a una velocidad de 70mp/h.

En el cuadro 1, se puede observar los rendimientos en perforación programado y real.

**Cuadro 1. Rendimiento en perforación programado y real**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS PROGRAMADAS					
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
LABOR SECCIÓN	Frente 3.5m x 3m	Frente 3.5m x 3m	$\Delta$	Unidad	$\Delta\%$
<b>PERFORACIÓN</b>					
Tipo de roca	I - II	I - II			
Longitud de barra	3.60	4.20	0.60	m	16.67
Longitud efectiva de perforación	3.00	3.32	0.32	m	10.67
Avance	2.21	3.04	0.83	m	37.56
Rendimiento en avance	73.67	91.57	17.90	%	24.30
Volumen a romper por disparo	22.85	31.97	9.12	m <sup>3</sup> /disparo	39.91
Tonelaje obtenido por disparo	61.70	86.31	24.61	t/disparo	39.89
<b>Parámetros de perforación</b>					
Diámetro de la broca	45	45	0.00	mm	0.00
Espaciamiento	0.60	0.45	-0.15	m	-25.00
Burden	0.50	0.40	-0.10	m	-20.00
Numero de taladros	28	34	6.00	taladros	21.43
<b>Rendimiento</b>					
Rendimiento de perforación	50	68.32	18.32	mp/h	36.64
Taladros perforados por hora	19.23	20.91	1.68	taladros/h	8.74
Tiempo efectivo de perforación	1.46	1.63	0.17	h	11.64
Tiempo de maniobras por taladro	0.23	0.28	0.05	h	21.74
Tiempo de posicionamiento	0.33	0.33	0.00	h	0.00
Tiempo total de perforación	2.02	2.24	0.22	h	10.89
Toneladas rotas por taladro	2.2	2.54	0.34	t/taladro	15.45

COSTOS UNITARIOS DE PERFORACIÓN				
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN	
Frente 3.5m x 3m	(US\$/ML)	(US\$/ML)	Δ	Δ%
<b>PERFORACIÓN</b>	<b>160.97</b>	<b>125.04</b>	<b>-35.93</b>	<b>-22.32</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>30.55</b>	<b>27.59</b>	<b>-2.96</b>	<b>-9.69</b>
Operador Jumbo	12.22	8.87	-3.35	-27.41
Ayudante Operador Jumbo	10.86	7.88	-2.98	-27.44
Capataz	7.47	10.84	3.37	45.11
<b>INSUMOS</b>	<b>25.34</b>	<b>21.17</b>	<b>-4.17</b>	<b>-16.45</b>
<b>ACEROS DE PERFORACIÓN</b>	<b>6.728</b>	<b>7.66</b>	<b>0.932</b>	<b>13.85</b>
Barra de extensión	3.27	3.19	-0.084	-2.57
Broca de 45mm	0.85	0.83	-0.024	-2.81
Shank adapter	0.91	0.89	-0.02	-2.20
Coopling	0.65	0.64	-0.01	-1.54
Broca escariadora de 3.5"	0.09	0.07	-0.02	-22.22
Adapter piloto	0.05	0.04	-0.01	-20.00
Aguzadora de copas	0.9	2	1.1	122.22
<b>MATERIALES</b>	<b>18.61</b>	<b>13.51</b>	<b>-5.1</b>	<b>-27.4046212</b>
Mangas de ventilación de 30"	5.36	3.89	-1.47	-27.43
Alcayatas de 3 cuerpos	6.46	4.69	-1.77	-27.40
Tubos de pvc 11/2 x 3 m	6.79	4.93	-1.86	-27.39
<b>EQUIPOS</b>	<b>105.08</b>	<b>76.28</b>	<b>-28.8</b>	<b>-27.41</b>
Jumbo de 1 brazo	105.08	76.28	-28.8	-27.41

### 6.1.1.2 Labores de Producción

#### 6.1.1.2.1 Breasting

En el caso de la malla de perforación, para una sección de 3.5 X3 se presupuestó realizar una malla de 15 taladros de 0.75m de espaciamiento y 0.75m de burden, sin embargo, esto es erróneo, ya que en la práctica se viene realizando una malla 19 taladros de 1m de espaciamiento y 0.9 de burden.

En la práctica se perfora 3.0 metros obteniéndose un avance de 2.74, lo cual es el 91.44%. En el presupuesto se perfora 3.2 m y se obtiene un avance de 2.88, lo cual es el 90%. El avance es adecuado sin embargo se podría mejorar con un buen diseño de malla y una buena distribución de taladros (lo cual se logra con el pintado de la malla y con el control del paralelismo entre los taladros) y una buena distribución de carga explosiva.

Finalmente, en lo que respecta al tiempo de perforación se puede observar que existen demoras por concepto de maniobras entre taladro y taladro, esto se debe a que la superficie del frente no es uniforme producto de un mal avance y a que el operador

tiene que calcular la posición del taladro, lo cual también se evitaría si se pintara la malla continuamente.

En el cuadro 2, se puede observar los rendimientos en perforación programado y real.

**Cuadro 2. Rendimiento en perforación programado y real**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS PROGRAMADAS					
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
SECCIÓN	Breasting	Breasting	$\Delta$	Unidad	$\Delta\%$
<b>PERFORACIÓN</b>					
Tipo de roca	I - II	I - II			
Longitud de barra	3.60	3.60	0.00	m	0.00
Longitud efectiva de perforación	3.20	3.30	0.10	m	3.12
Avance	2.88	2.74	-0.14	m	-4.86
Rendimiento en avance	90.00	83.03	-6.97	%	-7.74
Volumen a romper por disparo	30.26	28.80	-1.46	m <sup>3</sup> /disparo	-4.82
Tonelaje obtenido por disparo	87.75	83.53	-4.22	t/disparo	-4.81
<b>Parámetros de perforación</b>					
Diámetro de la broca	45	45	0.00	mm	0.00
Espaciamiento	0.75	1.00	0.25	m	33.33
Burden	0.75	0.90	0.15	m	20.00
Numero de taladros	15	19	4.00	taladros	26.67
<b>Rendimiento</b>					
Rendimiento de perforación	50	50.62	0.62	mp/h	1.24
Taladros por hora	15.63	16.87	1.24	taladros/h	7.93
Tiempo efectivo de perforación	0.96	1.13	0.17	h	17.71
Tiempo de maniobras por taladro	0.12	0.16	0.04	h	33.33
Tiempo de posicionamiento	0.33	0.33	0.00	h	0.00
Tiempo total de perforación	1.42	1.62	0.20	h	14.08
Toneladas rotas por taladro	5.18	4.4	-0.78	t/taladro	-15.06

COSTOS UNITARIOS DE PERFORACIÓN				
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN	
Breasting	(US\$/ML)	(US\$/ML)	Δ	Δ%
<b>PERFORACIÓN</b>	<b>128.76</b>	<b>132.47</b>	<b>4.75</b>	<b>3.18</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>30.55</b>	<b>27.59</b>	<b>-2.96</b>	<b>-9.69</b>
Operador Jumbo	12.22	8.87	-3.35	-27.41
Ayudante Operador Jumbo	10.86	7.88	-2.98	-27.44
Capataz	7.47	10.84	3.37	45.11
<b>INSUMOS</b>	<b>17.57</b>	<b>20.22</b>	<b>2.65</b>	<b>15.08</b>
<b>ACEROS DE PERFORACIÓN</b>	<b>3.3</b>	<b>5.23</b>	<b>1.93</b>	<b>58.48</b>
Barra de extensión	1.44	1.79	0.35	24.31
Broca de 45mm	0.37	0.47	0.1	27.03
Shank adapter	0.4	0.50	0.1	25.00
Coopling	0.29	0.36	0.07	24.14
Broca escariadora de 3.5"	0.07	0.07	0	0.00
Adapter piloto	0.04	0.04	0	0.00
Aguzadora de copas	0.69	2.00	1.31	189.86
<b>MATERIALES</b>	<b>14.27</b>	<b>14.99</b>	<b>0.72</b>	<b>5.05</b>
Mangas de ventilación de 30"	4.11	4.32	0.21	5.11
Alcayatas de 3 cuerpos	4.95	5.20	0.25	5.05
Tubos de pvc 1 1/2" x 3 m	5.21	5.47	0.26	4.99
<b>EQUIPOS</b>	<b>80.64</b>	<b>84.66</b>	<b>5.06</b>	<b>4.99</b>
Jumbo de 1 brazo	80.64	84.66	4.02	4.99

Expresando los costos unitarios de perforación en breasting en \$/TM:

COSTOS UNITARIOS DE PERFORACIÓN				
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN	
Breasting	(US\$/TM)	(US\$/TM)	Δ	Δ%
<b>PERFORACIÓN</b>	<b>4.23</b>	<b>4.35</b>	<b>0.12</b>	<b>2.83</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>1.00</b>	<b>0.91</b>	<b>-0.10</b>	<b>-9.74</b>
Operador Jumbo	0.40	0.29	-0.11	-27.45
Ayudante Operador Jumbo	0.36	0.26	-0.10	-27.48
Capataz	0.25	0.36	0.11	45.03
<b>INSUMOS</b>	<b>0.58</b>	<b>0.66</b>	<b>0.09</b>	<b>15.02</b>
<b>ACEROS DE PERFORACIÓN</b>	<b>0.11</b>	<b>0.17</b>	<b>0.06</b>	<b>58.40</b>
Barra de extensión	0.05	0.06	0.01	24.24
Broca de 45mm	0.01	0.02	0.00	26.96
Shank adapter	0.01	0.02	0.00	24.93
Coopling	0.01	0.01	0.00	24.07
Broca escariadora de 3.5"	0.00	0.00	0.00	-0.05
Adapter piloto	0.00	0.00	0.00	-0.05
Aguzadora de copas	0.02	0.07	0.04	189.70
<b>MATERIALES</b>	<b>0.47</b>	<b>0.49</b>	<b>0.02</b>	<b>4.99</b>
Mangas de ventilación de 30"	0.13	0.14	0.01	5.05
Alcayatas de 3 cuerpos	0.16	0.17	0.01	4.99
Tubos de pvc 1 1/2 x 3 m	0.17	0.18	0.01	4.93
<b>EQUIPOS</b>	<b>2.65</b>	<b>2.78</b>	<b>0.13</b>	<b>4.93</b>
Jumbo de 1 brazo	2.65	2.78	0.13	4.93

### 6.1.1.2.2 Realce

Este caso no se presupuestó y su realización no es continua.

En la práctica la malla de perforación para realce depende mucho del espaciamiento y el burden, es así que se tiene un espaciamiento de 1.4 m y 0.80m de burden. Sin embargo presenta una serie de deficiencias en lo que respecta a paralelismo de los taladros y a una falta de diseño de malla, lo cual repercute en la corona final del corte, la granulometría y tonelaje obtenido (el tonelaje obtenido por taladro según lo visto en el campo es de 5.7 t)

En el cuadro 3, se puede observar los rendimientos en realce real.

**Cuadro 3. Rendimiento real en realce**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS		
LABOR	Real REALCE	Unidades
<b>PERFORACIÓN</b>		
Longitud de barra	3.60	m
Longitud efectiva de perforacion	3.15	m
longitud de corte	10.00	m
potencia de manto	3.00	m
area de corte	30.00	m <sup>2</sup>
densidad de taladros	3.00	tal/fila
longitud de taladro	3.15	pies
angulo de corte	45.00	°
altura de corte	2.23	m
Volumen a romper por disparo	67.02	m <sup>3</sup> /disparo
Tonelaje obtenido por disparo	194.36	t/disparo
<b>Parametros de perforación</b>		
Diametro de la broca	45	mm
Espaciamiento	1.40	m
Burden	0.80	m
taladros por disparo	34.00	tal/disparo
<b>Rendimiento</b>		
<b>Rendimiento de perforación</b>	<b>55</b>	<b>mp/h</b>
Numero de taladros	17	taladros/h
Tiempo efectivo de perforación	1.9	h
Tiempo de maniobras por taladro	0.3	h
Tiempo de posicionamiento (llegada y salida)	0.3	h
<b>Tiempo total de perforación</b>	<b>2.6</b>	<b>h</b>
Toneladas rotas por taladro	5.7	t/taladro

## 6.1.2 Voladura

### 6.1.2.1 Labores de desarrollo

***“El éxito de una voladura depende que tan buena sea la malla de perforación, y de la cantidad óptima de explosivo por taladro”.***

Según el presupuesto se puede observar que se necesita 53.66 kg para realizar un frente de 3.5 X 3, con un factor de carga de 2.35Kg/m<sup>3</sup>. Sin embargo en la realidad se usa 59 Kg de emulsión con un factor de carga de 1.85Kg/m<sup>3</sup>, que es lo mismo que entender que se emplea 19.41kg de explosivo por metro avanzado, sin embargo estos indicadores son todavía excesivos. **Esto se debe a que no se tiene una buena malla de perforación y no se tiene paralelismo, por otro lado existe la mala práctica de cargar totalmente el taladro y no como máximo a un 75% como debería ser.**

Con un buen paralelismo, una buena malla de perforación, mejor distribución de carga y una mejor secuencia de salida se puede llegar a **1.52 kg/m<sup>3</sup>**.

En el cuadro 4, se puede observar el rendimiento de voladura programado y real

**Cuadro 4. Rendimiento de Voladura programado y real**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS PROGRAMADAS EN VOLADURA					
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
SECCIÓN	3.5m x 3m	3.5m x 3m	Δ	Unidad	Δ%
<b>VOLADURA</b>					
Emulsiones explosivas					
Emulnor 5000 1 1/8" x 16"	6.61	9.00	2.39	kg	36.16
Emulnor 3000 1 1/8" x 16"	47.05	50.00	2.95	kg	6.27
Total de kilogramos de explosivo	53.66	59.00	5.34	kg	9.95
<b>Factor de avance</b>	<b>24.28</b>	<b>19.41</b>	<b>-4.87</b>	<b>kg/m</b>	<b>-20.07</b>
Factor de Potencia	0.87	0.68	-0.19	kg/t	-21.84
Factor de carga	2.35	1.85	-0.50	kg/m <sup>3</sup>	-21.28
Tiempo de carguio y cebado por taladro	1.00	1.00	0.00	min	0.00
Tiempo total de carguio	0.47	0.57	0.10	h	21.28

OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN	
Frente 3.5m x 3m	(US\$/M3)	(US\$/M3)	Δ	Δ%
<b>VOLADURA</b>	<b>9.27</b>	<b>7.15</b>	<b>-2.12</b>	<b>-22.86</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>3.54</b>	<b>2.53</b>	<b>-1.0091</b>	<b>-57.00</b>
Cargador - Desatador	2.1	1.50	-0.5991	-28.53
Capataz	1.44	1.0	-0.41	-28.47
<b>INSUMOS</b>	<b>5.73</b>	<b>4.62</b>	<b>-1.32</b>	<b>-148.76</b>
<b>Explosivos</b>	<b>4.15</b>	<b>3.25</b>	<b>-0.63</b>	<b>-129.43</b>
Emulnor 3000 1 1/8" x 16"	3.56	2.87	-0.688	-19.33
Emulnor 5000 1 1/8" x 16"	0.50	0.32	-0.182	-36.40
Cordon detonante 3P	0.09	0.06	-0.03	-33.33
<b>Accesorios de voladura</b>	<b>1.58</b>	<b>1.37</b>	<b>-0.21</b>	<b>-13.29</b>
Fanel	1.53	1.33	-0.2	-13.07
Mecha de seguridad	0.03	0.02	-0.01	-33.33
Fulminante	0.01	0.01	0	0.00
Conectores	0.01	0.01	0	0.00
Mecha rapida	0.00	0.00	0	0.00

### 6.1.2.2 Labores de Producción

La voladura en tajos está relacionada a la perforación en la estructura mineralizada y a la cantidad óptima de explosivo a emplearse.

#### 6.1.2.2.1 Breasting

Según el presupuesto se puede observar que se necesita 24.89 kg para realizar un breasting de 15 taladros, con un factor de carga de 1.02Kg/m3 y 0.32 kg/t. Sin embargo en la realidad se usa 37.15 Kg de emulsión con un factor de carga de 1.29Kg/m3 y 0.48 kg/t, lo cual es excesivo.

El problema radica en que no se tiene una buena malla de perforación y ni buen paralelismo, por otro lado existe la mala práctica de cargar totalmente el taladro y no a un 75% como debería ser.

Con un buen paralelismo, una buena malla de perforación, mejor distribución de carga y una mejor secuencia de salida se puede obtener un factor de carga de **0.34 kg/m3**, lo cual es similar al programado pero con las mejoras del caso.

En el cuadro 5, se puede observar el rendimiento de voladura programado y real.

**Cuadro 5. Rendimiento de voladura Presupuestado y Real**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS PROGRAMADAS EN VOLADURA					
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
SECCIÓN	Breasting	Breasting	$\Delta$	Unidad	$\Delta\%$
<b>VOLADURA</b>					
Emulsiones explosivas					
Emulnor 3000 1 1/8" x 16"	24.89	37.15	12.26	kg	49.26
Total de kilogramos de explosivo	24.89	37.15	12.26	kg	49.26
Factor de Potencia	0.32	0.48	0.16	kg/t	50.00
Factor de carga	1.02	1.29	0.27	kg/m <sup>3</sup>	26.47
Tiempo de carguio y cebado por taladro	1.00	1.00	0.00	min	0.00
Tiempo total de carguio	0.25	0.32	0.07	h	26.67

COSTOS UNITARIOS DE VOLADURA					
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
Breasting	(US\$/M3)	(US\$/M3)	$\Delta$	$\Delta\%$	
<b>VOLADURA</b>	<b>4.91</b>	<b>5.91</b>	<b>1.00</b>	<b>20.26</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>2.67</b>	<b>2.81</b>	<b>0.14</b>	<b>10.14</b>	
Cargador - Desatador	1.59	1.67	0.08	5.07	
Capataz	1.09	1.14	0.06	5.07	
<b>INSUMOS</b>	<b>2.24</b>	<b>3.10</b>	<b>0.86</b>	<b>38.38</b>	
<b>Explosivos</b>	<b>1.45</b>	<b>2.26</b>	<b>0.81</b>	<b>85.20</b>	
Emulnor 3000 1 1/8" x 16"	1.40	2.19	0.79	56.82	
Emulnor 5000 1 1/8" x 16"					
Cordon detonante 3P	0.05	0.07	0.02	28.38	
<b>Accesorios de voladura</b>	<b>0.79</b>	<b>0.84</b>	<b>0.05</b>	<b>21.70</b>	
Fanel	0.77	0.82	0.05	6.49	
Mecha de seguridad	0.00	0.00	0.00	5.07	
Fulminante	0.00	0.00	0.00	5.07	
Conectores	0.01	0.01	0.00	5.07	
Mecha rapida	0.00	0.00	0.00	0.00	

**6.1.2.2.2 Realce**

No se consideró realce en el presupuesto y su realización no es continua.

Según lo observado en el campo se tiene un factor de carga de 0.90 kg/m<sup>3</sup> y 0.3 Kg/t, lo cual mejoraría con un buen diseño de malla, distribución de carga explosiva y secuencia de salida al igual que en los casos anteriores.

En el cuadro 6, se puede observar el rendimiento de voladura en la práctica

**Cuadro 6. Rendimiento de voladura Real**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS		
LABOR	Real REALCE	Unidades
<b>VOLADURA</b>		
Emulnor 5000 11/8x"16	0.00	Kg
Emulnor 3000 11/8x"16	60.25	Kg
Kilogramos de explosivo objetivo por disparo	60.25	kg
Factor de Potencia	0.34	kg/t
Factor de carga	0.90	kg/m <sup>3</sup>
Tiempo de cebado y carguío por taladro	1.00	min
Tiempo total de carguío	0.6	h

Luego de analizar la perforación y voladura tanto en labores de desarrollo y producción, se procede con el diagnostico de las operaciones unitarias de limpieza-acarreo y sostenimiento.

**6.1.3 Limpieza – acarreo**

**6.1.3.1 Labores de desarrollo**

Se coloca limpieza-acarreo porque en mina, la limpieza propiamente dicha no se da. Esto se debe a que no existen cámaras de acumulación o de carguío cercanas a los frentes lo que hace que el equipo LHD 3.5 yd<sup>3</sup> (por ejemplo) recorra longitudes de hasta 400 m, para “limpiar el frente”, haciendo que la operación unitaria sea ineficiente.

Según el presupuesto se deben tener cámaras cada 150 m, para tener un rendimiento de 30 m<sup>3</sup>/h con una pendiente de 12% a 14% como máximo, sin embargo en la práctica se tiene distancias de acarreo (mal llamada distancia de limpieza por lo

explicado en el párrafo anterior) de 200 hasta 400m, teniendo un promedio de 300m, obteniendo un rendimiento de 22.7 m<sup>3</sup>/h en el mejor de los casos.

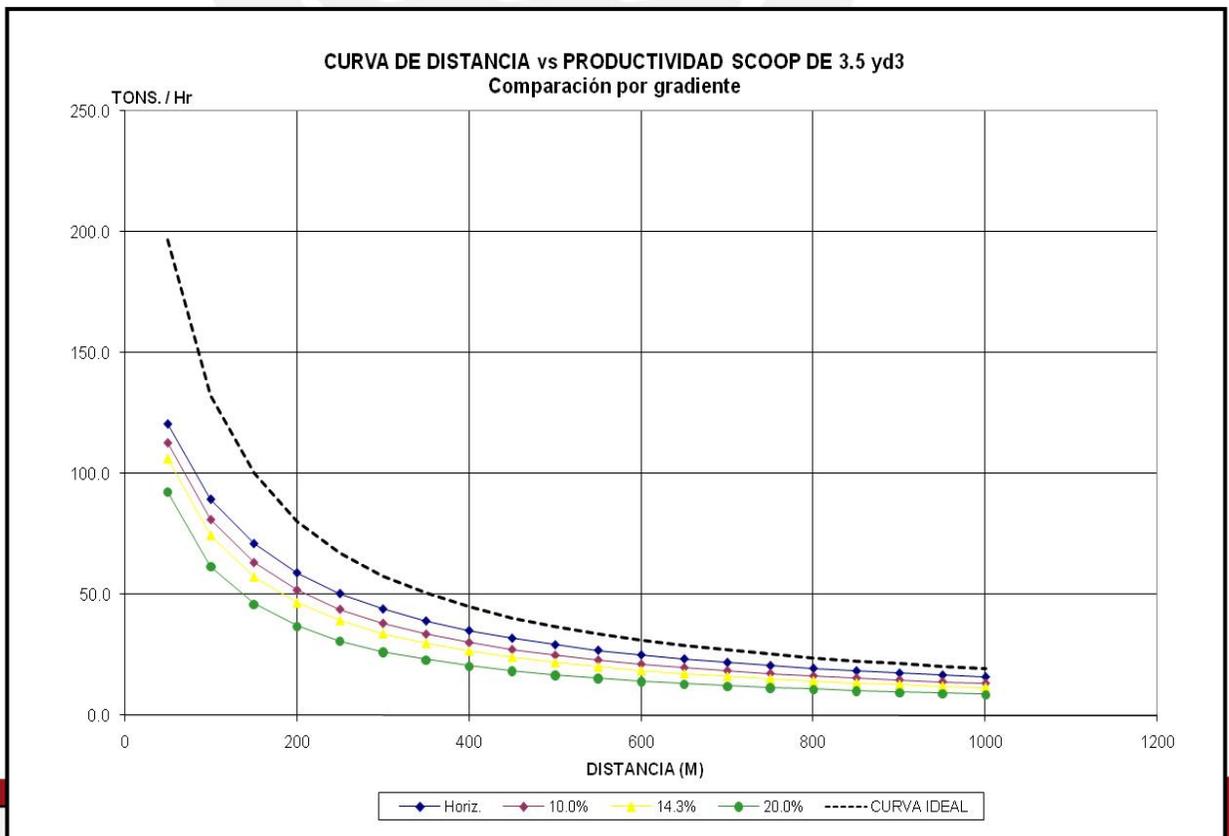
El avance de los frentes debe ser llevado con cámaras de carguío y/o acumulación cada **150m**, lo cual asegura una limpieza real y por ende optima de la operación unitaria que permita alcanzar rendimientos de **33 m<sup>3</sup>/h**.

Cabe resaltar que este rendimiento solo se obtendrá llevando labores a gradientes **no mayores a 12%** y conservando un buen piso de labor.

En el cuadro 8, se puede observar que el ciclo del equipo LHD 3.5 yd<sup>3</sup> es de 6.5 minutos según el presupuesto, lo cual se debe principalmente a la velocidad de traslación del equipo (4.5Km/h), para un distancia de 150m. Sin embargo en la práctica se puede observar que la velocidad aumenta a 5km/h, así como la distancia, teniendo un ciclo de 6.25 minutos.

En el gráfico 5 se puede observar el rendimiento teórico de Atlas Copco.

**Gráfico 5. Rendimiento Teórico de Atlas Copco, expresado en toneladas**



**Cuadro 7. Rendimiento en limpieza-acarreo, Presupuestado vs. Real**

OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
			Δ	Unidad	%
<b>SECCIÓN</b>	<b>3.5m x 3m</b>	<b>3.5m x 3m</b>			
<b>LIMPIEZA Y ACARREO</b>					
Capacidad del scoop	3.5	3.5	0	yd3	0
Capacidad del scoop	2.68	2.68	0	m3	0
Factor de llenado	0.85	0.85	0	%	0
Capacidad real del scoop	2.27	2.27	0	m3	0
Factor de esponjamiento	40	40	0	%	0
Metros cubicos volados	22.85	31.97	9.12	m3	39.91
Metros cubicos esponjados	31.99	44.76	12.77	m3	39.91
Velocidad promedio scoop	4.5	5	0.50	km/h	11.11
Pendiente	12	12	0	%	0.00
Distancia a la camara	0.15	0.3	0.15	km	100.00
<b>Ciclo</b>	0.08	0.10	0.025	h	33.33
Traslado con carga	0.03	0.04	0.01	h	33.33
Traslado sin carga	0.02	0.03	0.01	h	50.00
Maniobras totales	0.025	0.03	0.005	h	20.00
Ciclo en minutos	4.5	6	1.5	min	33.33
Numero de ciclos	14.09	19.72	5.62	ciclos	39.91
Tiempo total de limpieza	1.06	1.97	0.91	h	86.55
Rendimiento del scoop	30.27	22.70	-7.57	m3/h	-25.00

COSTOS UNITARIOS DE LIMPIEZA-ACARREO				
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN	
			Δ	Δ%
Labor de Desarrollo	(US\$/m3)	(US\$/m3)		
<b>LIMPIEZA-ACARREO</b>	<b>3.87</b>	<b>5.16</b>	<b>1.29</b>	<b>33.35</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>1.01</b>	<b>1.35</b>	<b>0.34</b>	<b>33.35</b>
Operador scoop	0.84	1.12	0.28	33.35
Capataz	0.17	0.23	0.06	33.35
<b>EQUIPOS</b>	<b>2.86</b>	<b>3.81</b>	<b>0.95</b>	<b>33.35</b>
Scoop (3.5yd3)	2.86	3.81	0.95	33.35

### 6.1.3.2 Labores de Producción

Según el presupuesto, los tajeos deben tener sus cámaras de acumulación de mineral o sus echaderos a una distancia no mayor a los 150 m, para tener un rendimiento de 30 m<sup>3</sup>/h con una pendiente máxima de 12%, sin embargo en la práctica se tiene distancias de acarreo hasta de 400 m, obteniéndose un rendimiento de 22.7 m<sup>3</sup>/h.

En el cuadro 8, se puede observar que el ciclo del equipo LHD 3.5 yd<sup>3</sup> es de 4.5 minutos según el presupuesto, lo cual se debe principalmente a la velocidad de traslación del equipo (4.5Km/h), para un distancia de 150m. Sin embargo en la práctica se puede observar que la velocidad aumenta a 5km/h con un ciclo de 6 minutos debido a la mayor distancia de recorrido.

**Cuadro 8. Rendimiento de limpieza-acarreo Presupuestado y Real**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS PROGRAMADAS					
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
Labores de Producción			Δ	Unidad	%
<b>LIMPIEZA Y ACARREO</b>					
Capacidad del scoop	3.5	3.5	0	yd <sup>3</sup>	0
Capacidad del scoop	2.68	2.68	0	m <sup>3</sup>	0
Factor de llenado	0.85	0.85	0	%	0
Capacidad real del scoop	2.27	2.27	0	m <sup>3</sup>	0
Factor de esponjamiento	40	40	0	%	0
Metros cubicos volados	30.26	28.8	-1.46	m <sup>3</sup>	-4.82
Metros cubicos esponjados	42.364	40.32	-2.04	m <sup>3</sup>	-4.82
Velocidad promedio scoop	4.5	5	0.50	km/h	11.11
Pendiente	12	12	0	%	0
Distancia al ore pass	0.15	0.3	0.15	km	100.00
<b>Ciclo</b>	0.075	0.10	0.025	h	33.33
Traslado con carga	0.03	0.04	0.01	h	33.33
Traslado sin carga	0.02	0.03	0.01	h	50.00
Maniobras totales	0.025	0.03	0.005	h	20.00
Ciclo en minutos	4.5	6	1.5	min	33.33
Numero de ciclos	14.96	20.81	5.85	ciclos	39.10
Tiempo total de limpieza	1.12	2.08	0.96	h	85.47
Rendimiento del scoop	30.27	22.70	-7.57	m <sup>3</sup> /h	-25.00

COSTOS UNITARIOS DE LIMPIEZA-ACARREO				
OPERACIÓN	Presupuestado (US\$/m3)	Real (US\$/m3)	VARIACIÓN	
			$\Delta$	$\Delta\%$
LIMPIEZA-ACARREO	4.40	5.86	1.47	33.35
MANO DE OBRA	0.96	1.28	0.32	33.35
Operador scoop	0.79	1.06	0.26	33.35
Capataz	0.16	0.22	0.05	33.35
EQUIPOS	3.44	4.59	1.15	33.35
Scoop (3.5yd3)	3.44	4.59	1.15	33.35

#### 6.1.4 Sostenimiento con Perno splitset

##### 6.1.4.1 Labores de desarrollo

En lo que respecta a sostenimiento, según el presupuesto, se ha optado por colocar pernos splitset de 7', con un rendimiento de 17 pernos/h, lo cual aumenta en la práctica a 21 pernos/h. Sin embargo el problema se debe a que no se deben colocar pernos splitset de 7' para una labor temporal, **se deben colocar pernos helicoidales o en su defecto pernos hydrabolt.**

Los pernos splitset tienen una resistencia a la carga de 1t/pie, mientras que los pernos hydrabolt tienen una resistencia a la carga de 2t/pie. Por otro lado, en lo que respecta a los pernos helicoidales, se tiene una resistencia a la carga de 4t/pie, haciéndolos los ideales para labores permanentes.

**En lo que respecta a los pernos helicoidales no son colocados debido a que toma mayor tiempo que los pernos splitset en la instalación (perforación e inyección).**

La colocación de pernos splitset se debe a que son más rápidos de colocar y porque no se cuenta con equipo necesario para la colocación de hydrabolt.

Colocar pernos splitset es más rápido y agiliza el ciclo de las operaciones unitarias, sin embargo no garantiza la durabilidad del sostenimiento de la labor, lo cual, si hace el perno helicoidal y en menor grado el perno hydrabolt.

El rendimiento del sostenimiento con pernos splitset es 17 pernos/h, lo cual es similar a lo visto en la práctica. Sin embargo esto se puede optimizar reduciendo los tiempos

muerdos de perforación y marcando previamente la malla de sostenimiento con perno Split set.

Según el cuadro 9 se muestra el detalle de los rendimientos en la colocación de pernos splitset.

**Cuadro 9. Rendimientos de sostenimiento de los pernos splitset programado y real**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS PROGRAMADAS					
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
Labores de Desarrollo			Δ	Unidad	%
<b>SOSTENIMIENTO CON SPLITSET</b>					
Tipo de roca	I-II	I-II			
Area a sostener	10.4	12.18	1.78	m2	17.12
Espaciamiento pernos	1.5	1.5	0.00	m	0.00
Pernos por frente	5	5	0.00	pernos/frente	0.00
Longitud del taladro	2.13	2.13	0.00	m	0.00
Tiempo de perforación por taladro	0.04	0.04	0.00	h	0.00
Tiempo de perforación del frente	0.21	0.21	0.00	h	0.00
Tiempo de instalación por perno	0.02	0.02	0.00	h	0.00
Tiempo de instalación de los pernos	0.09	0.09	0.00	h	0.00
Tiempo de empernado por frente	0.29	0.29	0.00	h	0.00
Grado de ocurrencia	0.50	0.5	0.00		0.00
Tiempo de empernado con grado de ocurrencia	0.15	0.15	0.00	h	0.00
Rendimiento	17	17	0.00	pernos/h	0.00

COSTOS UNITARIOS DE SOSTENIMIENTO CON SPLITSET				
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN	
Labores de Desarrollo	(US\$/perno)	(US\$/perno)	Δ	Δ%
<b>SOSTENIMIENTO CON SPLITSET</b>	<b>12.49</b>	<b>12.49</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>0.76</b>	<b>0.76</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Operador de Jumbo	0.26	0.26	0.00	0.00
Ayudante de Jumbo	0.47	0.47	0.00	0.00
Capataz	0.03	0.03	0.00	0.00
<b>MATERIALES</b>	<b>7.21</b>	<b>7.21</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Barras de perforación 8pies	0.15	0.15	0.00	0.00
Broca 35mm	0.07	0.07	0.00	0.00
Shank adapter	0.06	0.06	0.00	0.00
Coolpling	0.04	0.04	0.00	0.00
Perno split set	6	6	0.00	0.00
Adaptador perno	0.77	0.77	0.00	0.00
Mang de 1pulgada	0.12	0.12	0.00	0.00
<b>EQUIPOS</b>	<b>4.52</b>	<b>4.52</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Jumbo de 1 brazo	4.52	4.52	0.00	0.00

### 6.1.4.2 Labores de Producción

En lo que respecta a sostenimiento, según el presupuesto, se ha optado por colocar pernos splitset de 7 pies, con un rendimiento de 17 pernos/h, lo cual es similar a lo visto en la práctica. Sin embargo esto se puede optimizar reduciendo los tiempos muertos de perforación y marcando previamente la malla de sostenimiento con perno Split set.

La selección de pernos de 7 pies no siempre es la adecuada, ya que estos son diseñados para labores pequeñas de 3 x 3 - 3.5 X 3.5; sin embargo, para labores de mayor sección, es necesario contemplar pernos de mayor longitud (75% de la abertura de labor).

Según el cuadro 10 se muestra el detalle de los rendimientos en la colocación de pernos splitset en tajos.

**Cuadro 10. Rendimiento de sostenimiento con splitset - Presupuestado y Real**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS PROGRAMADAS					
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
			Δ	Unidad	%
Labores de Producción					
<b>SOSTENIMIENTO CON SPLITSET</b>					
Tipo de roca	I-II	I-II			
Area a sostener	11.52	10.97	-0.55	m2	-4.77
Espaciamiento pernos	1.5	1.5	0.00	m	0.00
Pernos por frente	5	5	0.00	pernos/frente	0.00
Longitud del taladro	2.13	2.13	0.00	m	0.00
Tiempo de perforación por taladro	0.04	0.04	0.00	h	0.00
Tiempo de perforación del frente	0.21	0.21	0.00	h	0.00
Tiempo de instalación por perno	0.02	0.02	0.00	h	-11.11
Tiempo de instalación de los pernos	0.08	0.08	0.00	h	0.00
Tiempo de empernado por frente	0.29	0.29	0.00	h	0.00
Grado de ocurrencia	0.50	0.5	0.00		0.00
Tiempo de empernado con grado de ocurrencia	0.15	0.15	0.00	h	0.00
Rendimiento	17	17	0.00	pernos/h	0.00

COSTOS UNITARIOS DE SOSTENIMIENTO CON SPLITSET				
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN	
	(US\$/perno)	(US\$/perno)	Δ	Δ%
Labor de Producción				
<b>SOSTENIMIENTO CON SPLITSET</b>	<b>12.49</b>	<b>12.49</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>0.76</b>	<b>0.76</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Operador de Jumbo	0.26	0.26	0.00	0.00
Ayudante de Jumbo	0.47	0.47	0.00	0.00
Capataz	0.03	0.03	0.00	0.00
<b>MATERIALES</b>	<b>7.21</b>	<b>7.21</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Barras de perforación 8pies	0.15	0.15	0.00	0.00
Broca 35mm	0.07	0.07	0.00	0.00
Shank adapter	0.06	0.06	0.00	0.00
Coopling	0.04	0.04	0.00	0.00
Perno split set	6	6	0.00	0.00
Adaptador perno	0.77	0.77	0.00	0.00
Mang de 1pulgada	0.12	0.12	0.00	0.00
<b>EQUIPOS</b>	<b>4.52</b>	<b>4.52</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Jumbo de 1 brazo	4.52	4.52	0.00	0.00

### 6.1.5 Sostenimiento con Shotcrete

#### 6.1.5.1 Labores de desarrollo

Según el presupuesto el rendimiento en lanzado de shotcrete es de 1m<sup>3</sup>/h, lo cual ha sido ampliamente superado en un 67% por la práctica debido a que ha disminuido el tiempo de traslado de materiales a la labor.

En el cuadro 11, se pueden observar los rendimientos para el lanzado de shotcrete vía seca según el presupuesto y lo visto en la práctica.

**Cuadro 11. Rendimientos para el lanzamiento de shotcrete vía seca  
Presupuestado y Real**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS PROGRAMADAS					
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
Labores de Desarrollo	3.5m x 3m	3.5m x 3m	Δ	Unidad	%
<b>SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE de 2" de espesor</b>					
Tipo de shotcrete(seca/humeda)	seca	seca			
Bolsas de cemento por m3 de mezcla	8	8	0	bolsas	0.00
Aditivo por m3	2	2.5	0.5	gl	25.00
Fibra metálica	25	25	0	kg	0.00
Volumen de mezcla para cubrir	0.56	0.62	0.06	m3	10.71
Desperdicio de material por rebote	40	48	8	%	20.00
Area cubierta m2 por m3 de mezcla	11.81	10.24	-1.57	m2/m3	-13.33
Rendimiento	1.00	1.67	0.67	m3/h	67.00
Tiempo de lanzado de shotcrete	1.06	0.87	-0.19	h	-17.92
Grado de ocurrencia	30	30	0	%	0.00
Tiempo de lanzado de shotcrete con grado de ocurrencia	0.32	0.26	-0.057	h	-17.92

COSTOS UNITARIOS DE SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE				
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN	
Labor de Desarrollo	(US\$/m2)	(US\$/m2)	Δ	Δ%
<b>SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE</b>	<b>27.6</b>	<b>31.8</b>	<b>4.23</b>	<b>15.33</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>5.30</b>	<b>6.11</b>	<b>0.81</b>	<b>15.33</b>
Capataz	1.10	1.27	0.17	15.33
Operador	0.90	1.04	0.14	15.33
Lanzador	0.90	1.04	0.14	15.33
Ayudante	2.40	2.77	0.37	15.33
<b>MATERIALES</b>	<b>14.47</b>	<b>16.69</b>	<b>2.22</b>	<b>15.33</b>
Cemento	5.00	5.77	0.77	15.33
Arena 1/2"	0.28	0.32	0.04	15.33
Acelerante	5.19	5.99	0.80	15.33
Fibra de acero	4.00	4.61	0.61	15.33
<b>EQUIPOS</b>	<b>7.80</b>	<b>9.00</b>	<b>1.20</b>	<b>15.33</b>
Shotcretera	2.60	3.00	0.40	15.33
Scoop	5.20	6.00	0.80	15.33

### 6.1.5.2 Labores de producción

En lo que respecta a tajos, cuando se tiene una excavación inestable, se acostumbra lanzar shotcrete pero con un espesor de 1 pulgada, lo cual es menor al que se lanza en labores de desarrollo. De esta manera se genera un lugar seguro (guarda cabeza) para entrar a minar ya sea realizando breasting o realce.

El lanzamiento del shotcrete en el sostenimiento de las labores de producción (tajos) es similar a lo presupuestado, considerándose un rebote del 40%.

En el cuadro 12, se pueden observar los rendimientos para el lanzado de shotcrete vía seca de acuerdo al presupuesto.

**Cuadro 12. Rendimientos para el lanzado de shotcrete vía seca Presupuestado**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS		
LABOR	Presupuestado	Unidades
<b>SOSTENIMIENTO</b>		
<b>Shotcrete de 1" de espesor</b>		
Tipo se shotcrete (seca/humeda)	seca	
Bolsas de cemento por m3 de mezcla	8.00	bolsas
Aditivo por m3	2.00	gl
Fibra metálica	25.00	kg
Volumen de mezcla para cubrir	0.22	m3
Desperdicio de material por rebote	40.00	%
Área cubierta m2 por m3 de mezcla	23.62	m2/m3
Rendimiento	1.00	m3/h
Tiempo de shotcrete	0.72	h
Grado de ocurrencia	50%	%
Tiempo de shotcrete con grado de ocurrencia	0.36	h

COSTOS UNITARIOS DE SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE				
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN	
			$\Delta$	$\Delta\%$
Labor de Desarrollo	(US\$/m <sup>2</sup> )	(US\$/m <sup>2</sup> )	$\Delta$	$\Delta\%$
<b>SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE de 1" de espesor</b>	<b>13.79</b>	<b>13.79</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>2.65</b>	<b>2.65</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Capataz	0.55	0.55	0.00	0.00
Operador	0.45	0.45	0.00	0.00
Lanzador	0.45	0.45	0.00	0.00
Ayudante	1.20	1.20	0.00	0.00
<b>MATERIALES</b>	<b>7.24</b>	<b>7.24</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Cemento	2.50	2.50	0.00	0.00
Arena 1/2"	0.14	0.14	0.00	0.00
Acelerante	2.60	2.60	0.00	0.00
Fibra de acero	2.00	2.00	0.00	0.00
<b>EQUIPOS</b>	<b>3.90</b>	<b>3.90</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Shotcretera	1.30	1.30	0.00	0.00
Scoop	2.60	2.60	0.00	0.00

Finalmente, el sostenimiento con shotcrete es uno de los puntos de menor eficiencia dentro de las operaciones unitarias. Es así, que el rebote juega un papel importante dentro del sostenimiento con shotcrete. En el presupuesto se ha tomado como rebote el 40% del total, sin embargo en la práctica está alrededor del 48%.

Las causas de este rebote son:

**Tipo de arena:** La cantidad de cemento, fibra metálica y aditivo es la adecuada. Según el presupuesto se tiene que la cantidad de cemento es de 8 bolsas/m<sup>3</sup>, fibra metálica es de 25kg/m<sup>3</sup> y de aditivo es 2gl/m<sup>3</sup>, lo cual es similar a la práctica, sin embargo el % de rebote ha aumentado en 8% con respecto al presupuesto, debido a que la calidad de la arena utilizada no es de buena calidad, lo cual ocasiona que el concreto sea pobre y por ende no se adhiera bien a las paredes de la excavación.

**Mala práctica en el lanzamiento del shotcrete:** La distancia óptima para lanzar el shotcrete no debe ser mayor a 1.5m, sin embargo se puede observar en la práctica que la distancia es muy variable (va desde 1m hasta 3 a 4 metros). Este exceso en la distancia ocasiona que la mezcla no llega con la suficiente fuerza para adherirse a la pared de la excavación y por ende se despegue y cae al piso.

Según el gráfico 6, se puede observar la incidencia de los factores que afectan el lanzamiento del shotcrete en vía seca. Para una muestra de 30 casos en que se ejecuto lanzamiento de shotcrete vía seca, se detecto que en 21 casos el problema era

la baja calidad de los insumos, y en 9 casos el problema era la distancia de lanzamiento del shotcrete que llegaba a 3 metros.

**Gráfico 6. Factores que afectan el rebote en el lanzamiento del shotcrete vía seca.**



## 6.2 Resumen del Diagnostico de los Procesos Operativos

En la Perforación en Desarrollos se observan “*aparentes mejoras*” en lo que respecta a los Rendimientos y Costos unitarios (US\$/ML), debiéndose esto esencialmente a que en el presupuesto se estableció realizar la perforación con barrenos de 12 pies de longitud y en la práctica se realiza con barrenos de 14 pies, obteniéndose por ello una “*aparente favorable variación*” de los indicadores de rendimiento de metros avanzados por disparo de 0,83m/disparo a favor, es decir un 37.55% más si se compara con lo presupuestado con barreno de 12 pies, y del mismo modo con respecto a los costos unitarios se observa una aparente reducción de 35.93 \$/ML, es decir un 22.32% como reducción del costo unitario de perforación. Sin embargo estos rendimientos no deben de ser considerados como significativos, sino que se debe comparar con lo óptimo que se podría obtener, es decir si el rendimiento hipotéticamente fuera del 100% que es lo que se obtiene con un avance ideal de

3.96m, con barreno de 14 pies. Por tanto la eficiencia real del avance por disparo sería del 76% y el costo unitario de perforación se incrementaría en un 30% si lo comparamos con el costo unitario ideal de perforación que es 96 \$/ML, que es que se obtiene con un avance ideal del 100%.

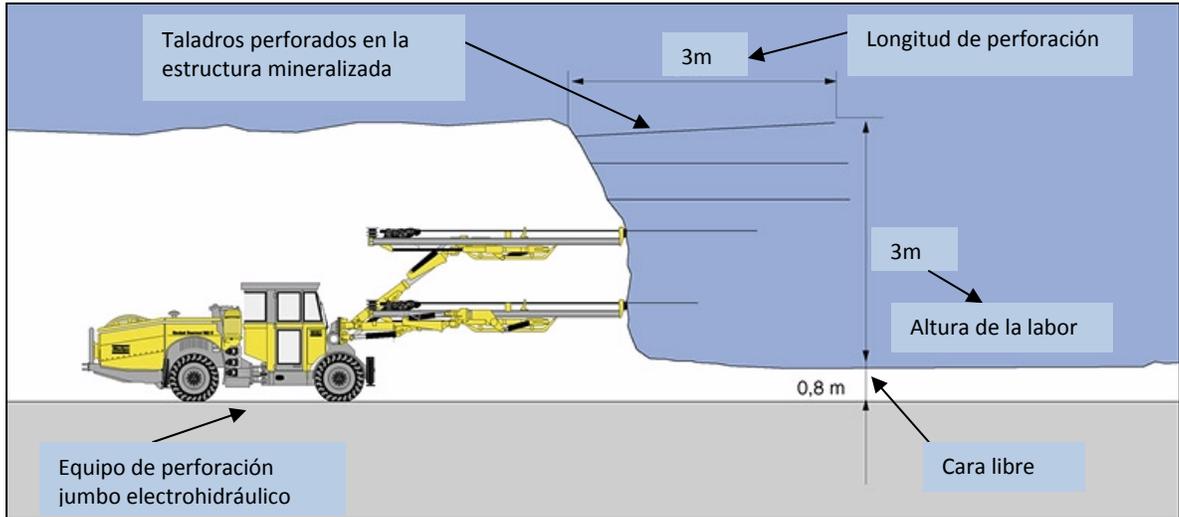
Así mismo el **avance por disparo presupuestado es bajo**, ya que un avance de 2.21m (para perforación con barreno de 12 pies) representa sólo un rendimiento del 63.63% de lo óptimo a obtener (3.30m de avance al 100% de rendimiento). Se tiene un excedente del 21.43% con respecto al presupuesto en el número de taladros a perforar o metros perforados.

**En la perforación de Producción (Breasting)** se observan Rendimientos inferiores a los presupuestados y costos unitarios (US\$/TM) superiores, excedente en el número de taladros a perforar; todo esto debido a prácticas y procedimientos no óptimos de trabajo y a una falta de control y supervisión de esta importante operación unitaria.

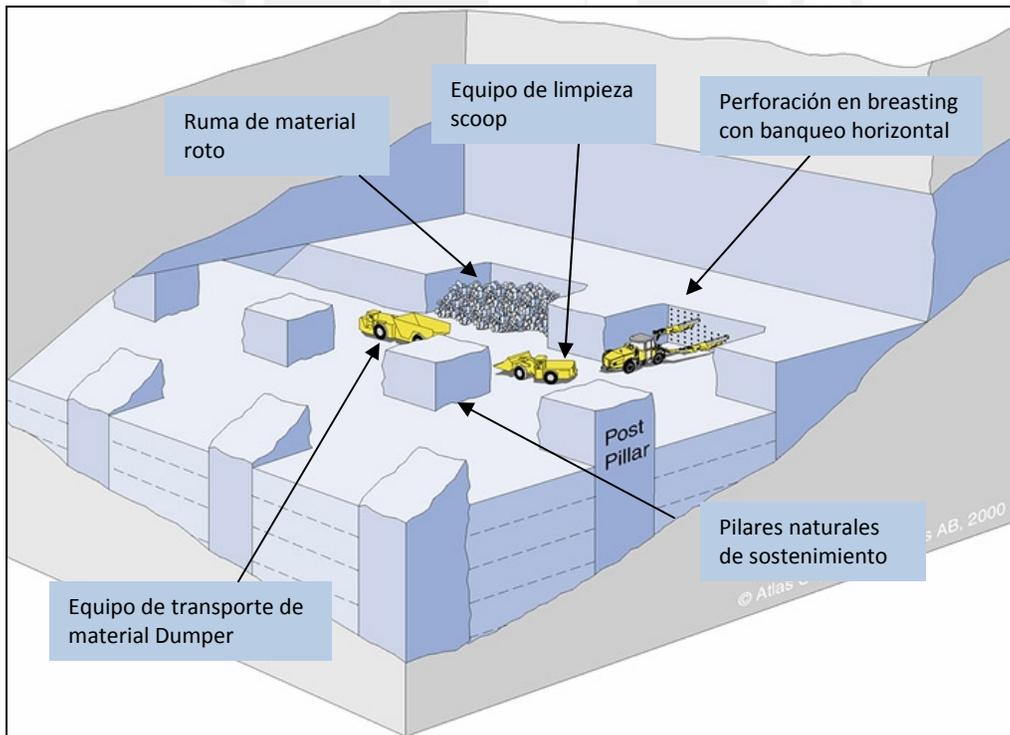
Los Rendimientos y Costos unitarios de la Perforación en Desarrollos y de Producción serán optimizados como se verá en el capítulo 9.

RESUMEN DEL DIAGNOSTICO DE LAS OPERACIONES UNITARIAS					
OPERACIONES UNITARIAS	PRESUPUESTADO	REAL	VARIACIÓN		
			Δ	Unidad	Δ%
<b>PERFORACIÓN EN DESARROLLOS</b>					
<b>Rendimientos y eficiencias</b>					
Avance por disparo	2.21	3.04	0.83	m	37.56
Volumen a romper por disparo	22.85	31.97	9.12	m <sup>3</sup> /disparo	39.91
Numero de taladros perforados por disparo	28.00	34.00	6.00	taladros/disparo	21.43
Rendimiento de perforación	50.00	68.32	18.32	mp/h	36.64
Toneladas rotas por taladro	2.20	2.54	0.34	TM/taladro	15.45
<b>Costos</b>					
Costo Unitario de Perforación	160.97	125.04	-35.93	US\$/ML	-22.32
Mano de Obra	30.55	27.59	-2.96	US\$/ML	-9.69
Insumos	25.34	21.17	-4.17	US\$/ML	-16.45
Aceros de Perforación	6.73	7.66	0.93	US\$/ML	13.85
Materiales	18.61	13.51	-5.10	US\$/ML	-27.40
Equipos (fundamentalmente Jumbo 1brazo)	105.08	76.28	-28.80	US\$/ML	-27.41
<b>PERFORACIÓN EN BREASTING</b>					
<b>Rendimientos y eficiencias</b>					
Avance por disparo	2.88	2.74	-0.14	m	-4.86
Tonelaje obtenido por disparo	87.75	83.53	-4.22	T M/disparo	-4.81
Numero de taladros perforados por disparo	15.00	19.00	4.00	taladros/disparo	26.67
Rendimiento de perforación	50.00	50.62	0.62	mp/h	1.24
Toneladas rotas por taladro	5.18	4.40	-0.78	TM/taladro	-15.06
<b>Costos</b>					
Costo Unitario de Perforación	4.23	4.35	0.12	US\$/TM	2.84
Mano de Obra	1.00	0.91	-0.09	US\$/TM	-9.00
Insumos	0.58	0.66	0.08	US\$/TM	13.79
Aceros de Perforación	0.11	0.17	0.06	US\$/TM	54.55
Materiales	0.47	0.49	0.02	US\$/TM	4.26
Equipos (fundamentalmente Jumbo 1brazo)	2.65	2.78	0.13	US\$/TM	4.91

La Perforación tipo breasting se detalla gráficamente a continuación:



El método de explotación que se utiliza es el de cámaras y pilares con corte y relleno ascendente *Post Room and Pillar*, como se ilustra a continuación.



En la Voladura en avances se observan “*aparentes mejoras*” en los que respecta a los Rendimientos y Costos unitarios (US\$/m<sup>3</sup>), debiéndose esto a que el volumen

roto por disparo presupuestado se realizó en base a una perforación con barreno de 12 pies mientras que en la realidad se realiza con 14 pies. Siendo el volumen roto presupuestado el 71.47% del volumen que se obtiene en la práctica. Obteniéndose por ello una **“aparente favorable variación”** de los indicadores de rendimientos y costos unitarios. Así mismo el **volumen roto por disparo presupuestado es bajo**, ya que 22.85m<sup>3</sup>/disparo representa sólo un rendimiento del 65.95% de lo óptimo a obtener por disparo (34.65m<sup>3</sup>/disparo al 100% de rendimiento). También se observa que se está empleando un excedente de 9.95% en consumo de explosivos, y los factores de carga y de potencia del presupuesto son altos y los reales no son los óptimos.

**En la Voladura de Producción** se observan Rendimientos inferiores a los presupuestados y costos unitarios (US\$/m<sup>3</sup>) superiores. El costo de voladura es un 20.37% superior a lo presupuestado y los indicadores de eficiencia como el factor de potencia es un 50% superior al presupuesto, siendo esto una operación ineficiente. Todo esto debido a prácticas y procedimientos no óptimos de trabajo y a una falta de control y supervisión de esta importante operación unitaria.

Los Rendimientos y Costos unitarios de la Voladura en Desarrollos y breasting serán optimizados como se verá en el capítulo 9.

RESUMEN DEL DIAGNOSTICO DE LAS OPERACIONES UNITARIAS					
OPERACIONES UNITARIAS	PRESUPUESTADO	REAL	VARIACIÓN		
			Δ	Unidad	Δ%
<b>VOLADURA EN AVANCES</b>					
<b>Rendimientos y eficiencias</b>					
Kilogramos de explosivo por disparo	53.66	59	5.34	kg/disparo	9.95
Factor de avance	24.28	19.41	-4.87	kg/m	-20.06
Factor de carga	2.35	1.85	-0.5	kg/m <sup>3</sup>	-21.28
<b>Costos</b>					
Costo Unitario de Voladura	9.27	7.15	-2.12	US\$/m <sup>3</sup>	-22.87
Mano de Obra	3.54	2.53	-1.01	US\$/m <sup>3</sup>	-28.53
Insumos	5.73	4.62	-1.11	US\$/m <sup>3</sup>	-19.37
Explosivos	4.15	3.25	-0.9	US\$/m <sup>3</sup>	-21.69
Accesorios de voladura	1.58	1.37	-0.21	US\$/m <sup>3</sup>	-13.29
<b>VOLADURA EN BREASTING</b>					
<b>Rendimientos y eficiencias</b>					
Kilogramos de explosivo por disparo	24.89	37.15	12.26	kg/disparo	49.26
Factor de Potencia	0.32	0.48	0.16	kg/TM	50.00
Factor de Carga	1.02	1.29	0.27	kg/m <sup>3</sup>	26.47
<b>Costos</b>					
Costo Unitario de Voladura	4.91	5.91	1.00	US\$/m <sup>3</sup>	20.37
Mano de Obra	2.67	2.81	0.14	US\$/m <sup>3</sup>	5.24
Insumos	2.24	3.1	0.86	US\$/m <sup>3</sup>	38.39
Explosivos	1.45	2.26	0.81	US\$/m <sup>3</sup>	55.86
Accesorios de voladura	0.79	0.84	0.05	US\$/m <sup>3</sup>	6.33

En la **Limpieza-acarreo de las labores de Desarrollo y de Producción** se observan Rendimientos inferiores a los presupuestados y costos unitarios (US\$/m<sup>3</sup>) superiores. El Rendimiento en la limpieza-acarreo es un 25.01 % inferior a lo presupuestado y por tanto el costo unitario es un 33.33% superior. Todo esto debido a prácticas y procedimientos no óptimos de trabajo y a una falta de control y supervisión de esta importante operación unitaria.

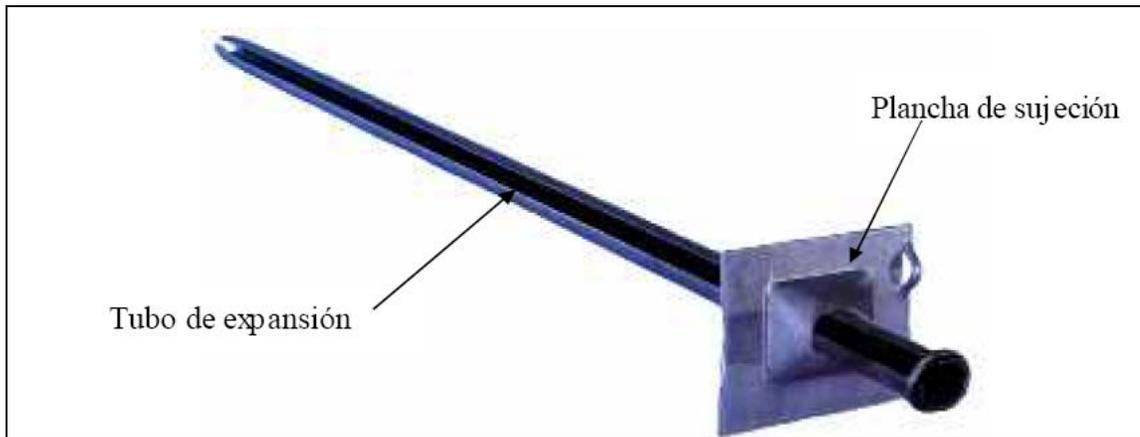
RESUMEN DEL DIAGNOSTICO DE LAS OPERACIONES UNITARIAS					
OPERACIONES UNITARIAS	PRESUPUESTADO	REAL	VARIACIÓN		
			Δ	Unidad	Δ%
<b>LIMPIEZA-ACARREO EN DESARROLLOS</b>					
<b>Rendimientos y eficiencias</b>					
Rendimiento del scoop	30.27	22.7	-7.57	m3/h	-25.01
<b>Costos</b>					
<b>Costo Unitario de Limpieza-acarreo</b>	<b>3.87</b>	<b>5.16</b>	<b>1.29</b>	<b>US\$/m3</b>	<b>33.33</b>
Mano de Obra	1.01	1.35	0.34	US\$/m3	33.66
Equipos	2.86	3.81	0.95	US\$/m3	33.22
<b>LIMPIEZA-ACARREO EN LABORES DE PRODUCCIÓN</b>					
<b>Rendimientos y eficiencias</b>					
Rendimiento del scoop	30.27	22.7	-7.57	m3/h	-25.01
<b>Costos</b>					
<b>Costo Unitario de Limpieza-acarreo</b>	<b>4.40</b>	<b>5.87</b>	<b>1.47</b>	<b>US\$/m3</b>	<b>33.41</b>
Mano de Obra	0.96	1.28	0.32	US\$/m3	33.33
Equipos	3.44	4.59	1.15	US\$/m3	33.43

En el **sostenimiento con perno splitset en las labores de Desarrollo y de Producción** se observan Rendimientos y costos unitarios (US\$/perno) similares a los presupuestados, sin embargo esta operación unitaria de minado será posible de optimizar a través de una demarcación previa de la malla de sostenimiento y a un control y optimización de la perforación.

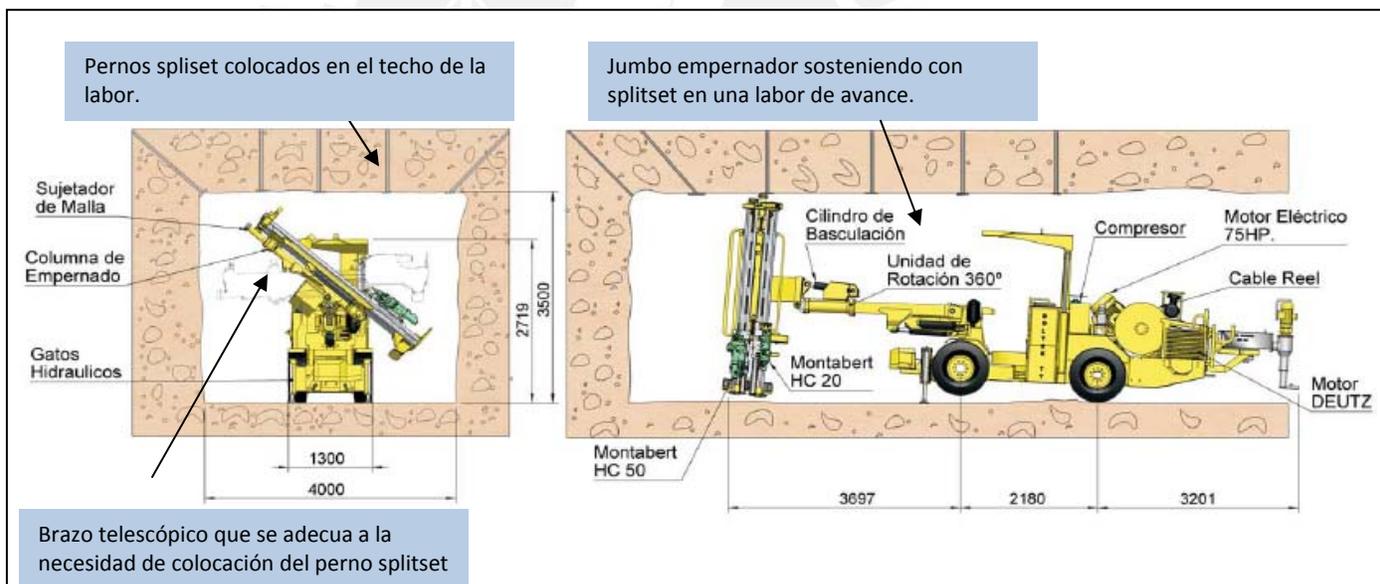
<b>SOTENIMIENTO CON PERNO SPLITSET EN DESARROLLOS</b>					
<b>Rendimientos y eficiencias</b>					
Rendimiento de empernado	17	17	0	pernos/h	0.00
<b>Costos</b>					
<b>Costo Unitario de Sostenimiento con Splitset</b>	<b>12.49</b>	<b>12.49</b>	<b>0</b>	<b>US\$/perno</b>	<b>0.00</b>
Mano de Obra	0.76	0.76	0	US\$/perno	0.00
Materiales	7.21	7.21	0	US\$/perno	0.00
Equipos	4.52	4.52	0	US\$/perno	0.00
<b>SOTENIMIENTO CON PERNO SPLITSET EN LABORES DE PRODUCCIÓN</b>					
<b>Rendimientos y eficiencias</b>					
Rendimiento de empernado	17	17	0	pernos/h	0.00
<b>Costos</b>					
<b>Costo Unitario de Sostenimiento con Splitset</b>	<b>12.49</b>	<b>12.49</b>	<b>0</b>	<b>US\$/perno</b>	<b>0.00</b>
Mano de Obra	0.76	0.76	0	US\$/perno	0.00
Materiales	7.21	7.21	0	US\$/perno	0.00
Equipos	4.52	4.52	0	US\$/perno	0.00

Los Rendimientos y Costos unitarios de Limpieza-acarreo y Sostenimiento con perno splitset serán optimizados como se verá en el capítulo 9.

El perno tipo splitset consiste básicamente en el tubo de expansión y su correspondiente plancha de sujeción, como se detalla gráficamente a continuación:



La aplicación del sostenimiento de perno Splitset con jumbo emperrador, se ilustra a continuación.



**En el Sostenimiento con Shotcrete en las labores de Desarrollo se observan Rendimientos inferiores a los presupuestados y costos unitarios (US\$/m<sup>2</sup>) superiores. El rendimiento de área cubierta m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de shotcrete lanzado es un 13.29% inferior al presupuesto, debido a que el rebote del shotcrete en la práctica es un 20% superior al del presupuesto. Acarreando que el Costo unitario del shotcrete se eleve un 15.34%.**

Todo esto debido a prácticas y procedimientos no óptimos de trabajo y a una falta de control y supervisión de esta importante operación unitaria.

**En el Sostenimiento con shotcrete en las labores de Producción** los rendimientos y costos unitarios son similares al presupuesto. Sin embargo esta operación unitaria es factible de optimizar en lo que respecta al rendimiento de área cubierta  $m^2$  por  $m^3$  de mezcla lanzado, mediante un rebote máximo del 30%.

Los Rendimientos y Costos unitarios del sostenimiento con shotcrete en labores de desarrollo y de producción serán optimizados como se verá en el capítulo 9.

SOTENIMIENTO CON SHOTCRETE EN DESARROLLOS					
<b>Rendimientos y eficiencias</b>					
Rendimiento del lanzado de shotcrete	1.00	1.67	0.67	m3/h	67.00
Rebote	40.00	48.00	8.00	%	20.00
Área cubierta m2 por m3 de mezcla	11.81	10.24	-1.57	m2/m3	-13.29
<b>Costos</b>					
<b>Costo Unitario de Sostenimiento con shotcrete</b>	<b>27.57</b>	<b>31.8</b>	<b>4.23</b>	<b>US\$/m2</b>	<b>15.34</b>
Mano de Obra	5.3	6.11	0.81	US\$/m2	15.28
Materiales	14.47	16.69	2.22	US\$/m2	15.34
Equipos	7.8	9	1.2	US\$/m2	15.38
SOTENIMIENTO CON SHOTCRETE EN LABORES DE PRODUCCIÓN					
<b>Rendimientos y eficiencias</b>					
Rendimiento del lanzado de shotcrete	1.00	1.00	0.00	m3/h	0.00
	40.00	40.00	0.00	%	0.00
Área cubierta m2 por m3 de mezcla	23.62	23.62	0.00	m2/m3	0.00
<b>Costos</b>					
<b>Costo Unitario de Sostenimiento con shotcrete</b>	<b>13.79</b>	<b>13.79</b>	<b>0</b>	<b>US\$/m2</b>	<b>0.00</b>
Mano de Obra	2.65	2.65	0	US\$/m2	0.00
Materiales	7.24	7.24	0.00	US\$/m2	0.00
Equipos	3.9	3.9	0	US\$/m2	0.00

## 7. Evaluación del Ciclo de minado por Costos y Rendimientos

### 7.1 Rendimientos

#### 7.1.1 Labores de desarrollo

Luego de analizar las operaciones unitarias por separado se puede ver todo el ciclo de las operaciones unitarias de una labor de desarrollo, así en el cuadro 13, se puede observar que el ciclo de minado se programa para 5.5 horas pero en la práctica dura 6.37 horas.

Las principales actividades en el ciclo de minado son la perforación y la limpieza en lo que respecta a su duración, teniendo ellas el 65% y 70% del programado y real respectivamente.

**Cuadro 13. Ciclo de las operaciones unitarias de un frente de 3.5X3 Presupuestado y Real.**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS PROGRAMADAS					
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
Ciclo de Operaciones Unitarias en Desarrollos	Frentes de avance 3.5m x 3m		Δ	Unidad	Δ%
<b>PERFORACIÓN</b>					
Tiempo total de perforación	2.02	2.24	0.22	hora	10.89
<b>VOLADURA</b>					
Tiempo total de carguio	0.47	0.57	0.1	hora	21.28
<b>LIMPIEZA Y ACARREO</b>					
Tiempo total de limpieza	1.52	2.18	0.66	hora	43.42
<b>SOSTENIMIENTO con Perno split set</b>					
Tiempo de empernado con grado de ocurrencia	0.14	0.12	-0.02	hora	-14.29
<b>SOSTENIMIENTO con Shotcrete</b>					
Tiempo de lanzado de shotcrete con grado de ocurrencia	0.32	0.26	-0.06	hora	-18.75
<b>ACTIVIDADES CONEXAS</b>					
Ventilación	0.5	0.5	0	hora	0.00
Regado y Desatado	0.5	0.5	0	hora	0.00
<b>TIEMPO TOTAL POR CICLO</b>	<b>5.47</b>	<b>6.37</b>	<b>0.9</b>	<b>hora</b>	<b>16.45</b>

### 7.1.2 Labores de Producción

En el cuadro 14, se puede observar que el ciclo de minado se programa para 5.13 horas pero en la práctica dura 5.28 horas.

Las principales actividades en el ciclo de minado son la perforación y la limpieza, teniendo ellas el 66% y 67% del programado y real respectivamente.

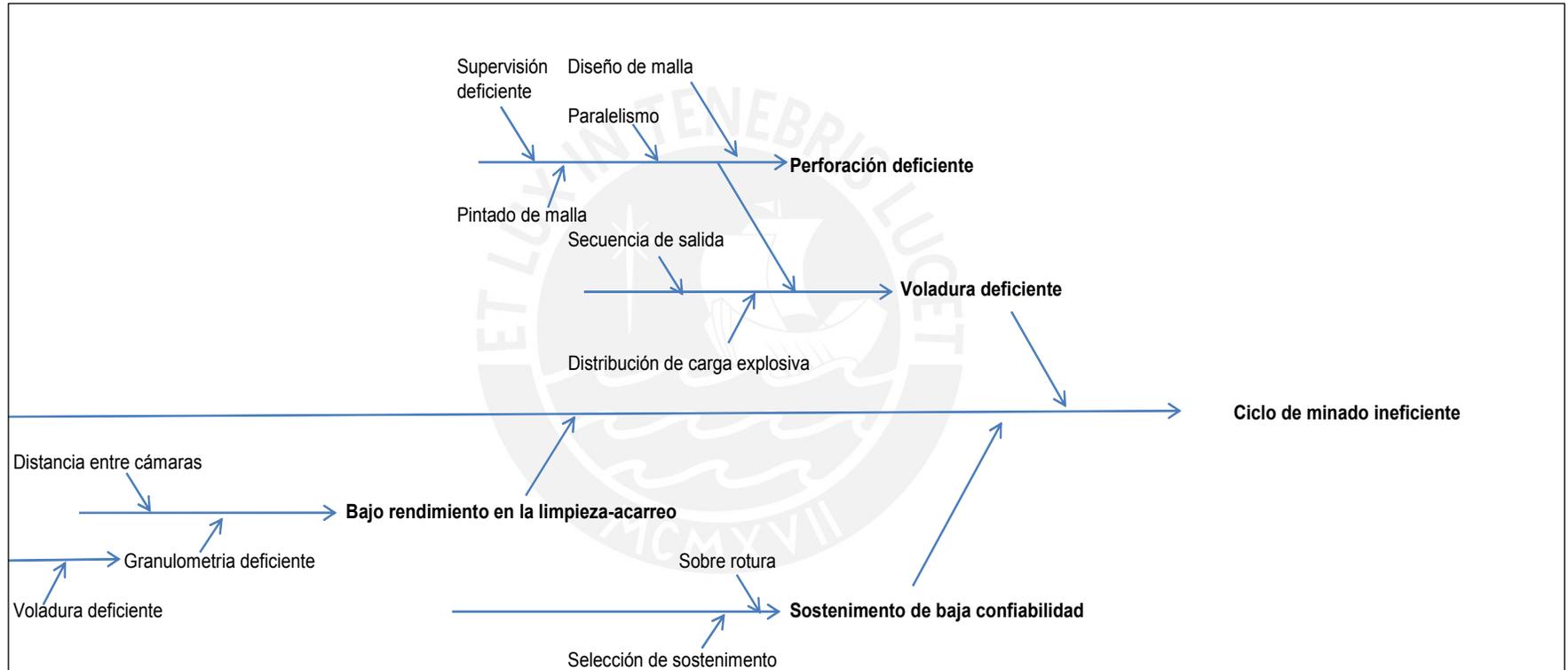
En el cuadro 14, se observa el ciclo de minado en labores de producción.

**Cuadro 14. Ciclo de minado en labores de Producción**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS PROGRAMADAS					
OPERACIÓN	Presupuestado	Real	VARIACIÓN		
Ciclo de Operaciones Unitarias en Labores de Producción	Labores en Breasting de 3.5m x 3m		Δ	Unidad	Δ%
<b>PERFORACIÓN</b>					
Tiempo total de perforación	1.42	1.62	0.20	hora	14.08
<b>VOLADURA</b>					
Tiempo total de carguio	0.25	0.32	0.07	hora	28.00
<b>LIMPIEZA Y ACARREO</b>					
Tiempo total de limpieza	1.95	1.85	-0.10	hora	-5.13
<b>SOSTENIMIENTO con Perno split set</b>					
Tiempo de empernado con grado de ocurrencia	0.15	0.15	0.00	hora	0.00
<b>SOSTENIMIENTO con Shotcrete</b>					
Tiempo de lanzado de shotcrete con grado de ocurrencia	0.36	0.36	0.00	hora	0.00
<b>ACTIVIDADES CONEXAS</b>					
Ventilación	0.50	0.50	0.00	hora	0.00
Regado y Desatado	0.50	0.50	0.00	hora	0.00
<b>TIEMPO TOTAL POR CICLO</b>	<b>5.13</b>	<b>5.30</b>	<b>0.17</b>	<b>hora</b>	<b>3.31</b>

En el gráfico 7, se puede observar el **diagrama de causa efecto del ciclo de minado de labores de desarrollo y de producción**, lo cual se sustenta en el análisis realizado de las operaciones unitarias.

**Gráfico 7. Diagrama Causa Efecto de las operaciones unitarias**



## 7.2 COSTOS

Con respecto a los costos de las operaciones unitarias del ciclo de minado, se ha realizado una comparación y análisis entre los costos presupuestados de las operaciones unitarias y los reales obtenidos para las condiciones de trabajo actual.

### 7.2.1 Labores de desarrollo

De los resultados mostrados en el cuadro 15, se puede observar lo siguiente:

#### 7.2.1.1 Costo de Perforación

El costo total según el presupuesto para un frente de 3.5X3 es de 160.97 USD/ML mientras que el real es de 125.04 USD/ML. Esta diferencia se explica principalmente al rubro de equipos el cual es para el programado 105.08USD/ML contra los 76.28 USD/ML de lo real, que representa el 71.2% del programado. Este efecto de una disminución del costo real en el rubro de equipos se debe principalmente al rendimiento, ya que el rendimiento real en avance es del 91.7% (3.04m/disparo) mientras que el programado es sólo 74% (2.21m/disparo), esto relacionado también a que se presupuesto realizar la perforación con barrenos de 12 pies de longitud y en la realidad se realiza con 14 pies.

El rendimiento real en perforación efectivamente será posible optimizar mediante el control de los parámetros y factores de perforación como son el modo de perforación (adecuado paralelismo), ejecución de la perforación de acuerdo al diseño de la malla de perforación (espaciamiento y burden) y delineado o pintado de malla, consiguiéndose con ello un incremento del rendimiento en perforación y por ende un costo en perforación menor al actual.

Se observa en el rubro de insumos un costo real de los aceros de perforación de 7.66 USD/ML frente al presupuestado 6.74 USD/ML, debido principalmente al componente aguzadora de copas que presenta una vida útil real 50% del presupuestado.

En el rubro de mano de obra se observa un costo real en supervisión por parte del capataz de 10.84 USD/ML mientras que lo presupuestado era de 7.47 USD/ML, esto se debió a que se optó por personal con estudio técnico en lugar de empírico para ejercer el cargo de la supervisión de campo en la perforación con jumbo.

### 7.2.1.2 Costo de Voladura

El costo de voladura ha sido calculado respecto a los  $m^3$  de material disparado.

El costo en la voladura está relacionado con la cantidad de explosivo consumido, el avance alcanzado y los  $m^3$  de roca obtenidos producto del disparo. Teniéndose un costo programado en voladura de 9.27 USD/ $m^3$  mientras que el costo real es de 7.15 USD/ $m^3$ , lo cual representa el 78% de costo programado. Este efecto se debe a que el rendimiento por disparo ( $m^3$ /disparo) programado es de 22.85  $m^3$ /disparo mientras que el real es 31.97  $m^3$ /disparo, debiéndose también a que se presupuestó realizar la perforación con barreno de 12 pies de longitud y en la realidad se realiza con 14 pies.

El rendimiento real en voladura efectivamente será posible optimizar mediante el control de los parámetros de perforación y voladura (consumo de explosivos mediante una adecuada distribución de la carga explosiva), consiguiéndose un costo en voladura menor al actual.

En el rubro de materiales también se observa una disminución del costo de 5.73 USD/ $m^3$  presupuestado a 4.62 USD/ $m^3$  real, lo cual es el 81% del costo programado en materiales de voladura; esto debido también al efecto del bajo rendimiento que se presupuestó obtener por disparo, a pesar que en materiales se presupuestó emplear 53kg por disparo frente a los 59kg que realmente se emplean (11.32% más de lo presupuestado).

### 7.2.1.3 Costo de limpieza-acarreo

El costo de limpieza-acarreo es con respecto a los  $m^3$  esponjados<sup>16</sup> que serán trasladados por el equipo LHD de 3.5  $yd^3$  por ejemplo.

El costo de limpieza-acarreo programado es de 3.87 USD/ $m^3$ , mientras que el real es de 5.16 USD/ $m^3$ , lo cual representa un incremento del costo de 33.33% respecto a lo programado. Este costo también será posible de disminuir mediante un incremento en el rendimiento de la limpieza-acarreo que se logrará con un control del mismo, ejecutándose cámaras de carguío y/o acumulación cada 150m,

<sup>16</sup> Esponjamiento es el aumento de volumen de un terreno al ser excavado, todos los terrenos sufren este aumento de volumen y es expresado en porcentaje del volumen in situ.

gradientes de las labores no mayores a 12% y un adecuado material a cargar productos de una perforación y voladura controlada y optimizada.

#### 7.2.1.4 Costo de sostenimiento con splitset

El costo del sostenimiento con perno splitset según es similar al presupuestado 12.49 USD/perno. Sin embargo será posible de optimizar el costo de sostenimiento con perno splitset a través de las mejoras a realizar en la operación unitaria de perforación.

#### 7.2.1.5 Costo de sostenimiento con shotcrete

El costo de sostenimiento con shotcrete es calculado con respecto al  $m^2$  cubierto y es un 15.34% superior a lo presupuestado, debido a que el rendimiento real de área cubierta  $m^2$  por  $m^3$  de mezcla lanzado ( $m^2/m^3$ ) es un 13.29% inferior a lo presupuestado. Debiéndose esto a la cantidad de desperdicio ocasionado por el rebote 48%, es decir 20% más de lo presupuestado, inadecuada manipulación del material, mala calidad de insumos (principalmente la arena, ocasiona un aumento en la cantidad de cemento por  $m^3$ ) y mala práctica en el lanzado.

Cuadro 15. Costo de las operaciones unitarias Presupuestado y Real

DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTADO	REAL	VARIACIÓN	
FRENTE DE 3.5 X 3 M	TOTAL	TOTAL	Δ	Δ%
	(US\$/ML)	(US\$/ML)	(US\$/ML)	%
<b>PERFORACIÓN</b>	<b>160.97</b>	<b>125.03</b>	<b>-35.94</b>	<b>-22.33</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	30.54	27.59	-2.95	-9.66
<b>TRABAJADORES</b>	30.54	27.59	-2.95	-9.66
Operador Jumbo	12.22	8.87	-3.35	-27.41
Ayudante	10.86	7.88	-2.98	-27.44
Capataz	7.47	10.84	3.37	45.11
<b>INSUMOS</b>	25.35	21.16	-4.19	-16.53
<b>ACEROS DE PERFORACIÓN</b>	6.74	7.66	0.92	13.65
Barra de extensión 14 pies	3.27	3.19	-0.08	-2.45
Broca de 45mm	0.85	0.83	-0.02	-2.35
Shank adapter	0.91	0.89	-0.02	-2.20
Coopling	0.65	0.64	-0.01	-1.54
Broca escareadora	0.09	0.07	-0.02	-22.22
Adapter piloto	0.05	0.04	-0.01	-20.00
Aguzadora de copas	0.9	2	1.1	122.22
<b>MATERIALES</b>	18.6	13.51	-5.09	-27.37
Mangas de ventilación de 30"	5.36	3.89	-1.47	-27.43
Alcayatas de 03 cuerpos	6.46	4.69	-1.77	-27.40
Tubos de pvc 1 1/2 x 3 mts	6.79	4.93	-1.86	-27.39
<b>EQUIPOS</b>	105.08	76.28	-28.8	-27.41
Jumbo (1 brazo)	105.08	76.28	-28.8	-27.41
FRENTE DE 3.5 X 3 M	TOTAL	TOTAL	Δ	Δ%
	(US\$/M3)	(US\$/M3)	(US\$/M3)	%
<b>VOLADURA</b>	<b>9.27</b>	<b>7.15</b>	<b>-2.12</b>	<b>-22.87</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	3.54	2.53	-1.01	-28.53
<b>TRABAJADORES</b>	3.54	2.53	-1.01	-28.53
Cargador - Desatador	2.1	1.5	-0.6	-28.57
Capataz	1.44	1.03	-0.41	-28.47
<b>INSUMOS</b>	5.73	4.62	-1.11	-19.37
<b>EXPLOSIVOS</b>	5.73	4.62	-1.11	-19.37
Emulnorn 3000 1" x 16"	4.06	3.19	-0.87	-21.43
Fanel	1.53	1.33	-0.2	-13.07
Cordon detonante 3P	0.09	0.06	-0.03	-33.33
Mecha de seguridad	0.03	0.02	-0.01	-33.33
Fulminante	0.01	0.01	0	0.00
Conectores	0.01	0.01	0	0.00
Mecha rápida	0.00	0.00	0	0.00

DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTADO	REAL	VARIACIÓN	
FRENTE DE 3.5 X 3 M	<b>TOTAL</b> (US\$/M3)	<b>TOTAL</b> (US\$/M3)	$\Delta$ (US\$/M3)	$\Delta\%$ %
<b>LIMPIEZA-ACARREO</b>	<b>3.87</b>	<b>5.16</b>	<b>1.29</b>	<b>33.33</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>1.02</b>	<b>1.35</b>	<b>0.33</b>	<b>32.35</b>
<b>TRABAJADORES</b>	<b>1.02</b>	<b>1.35</b>	<b>0.33</b>	<b>32.35</b>
Operador scoop	0.84	1.12	0.28	33.33
capataz	0.17	0.23	0.06	35.29
<b>EQUIPOS</b>	<b>2.86</b>	<b>3.81</b>	<b>0.95</b>	<b>33.22</b>
scoop (3.5yd3)	2.86	3.81	0.95	33.22
FRENTE DE 3.5 X 3 M	<b>TOTAL</b> (US\$/perno)	<b>TOTAL</b> (US\$/perno)	$\Delta$ (US\$/perno)	$\Delta\%$ %
<b>SOSTENIMIENTO CON SPLIT SET</b>	<b>12.49</b>	<b>12.49</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>0.77</b>	<b>0.77</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
Operador de Jumbo	0.26	0.26	0	0.00
Ayudante de Jumbo	0.47	0.47	0	0.00
capataz	0.03	0.03	0	0.00
<b>MATERIALES</b>	<b>7.21</b>	<b>7.21</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
Barras de perforación 8pies	0.15	0.15	0	0.00
Broca 35mm	0.07	0.07	0	0.00
Shank adapter	0.06	0.06	0	0.00
Coopling	0.04	0.04	0	0.00
Perno split set	6	6	0	0.00
Adaptador perno	0.77	0.77	0	0.00
manga de 1"	0.12	0.12	0	0.00
<b>EQUIPOS</b>	<b>4.52</b>	<b>4.52</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
Jumbo (1brazo)	4.52	4.52	0	0.00
FRENTE DE 3.5 X 3 M	<b>TOTAL</b> (US\$/m2)	<b>TOTAL</b> (US\$/m2)	$\Delta$ (US\$/m2)	$\Delta\%$ %
<b>SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE</b>	<b>27.6</b>	<b>31.81</b>	<b>4.21</b>	<b>15.25</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>5.3</b>	<b>6.12</b>	<b>0.82</b>	<b>15.47</b>
Capataz	1.1	1.27	0.17	15.45
Operador	0.9	1.04	0.14	15.56
Lanzador	0.9	1.04	0.14	15.56
Ayudante	2.4	2.77	0.37	15.42
<b>MATERIALES</b>	<b>14.47</b>	<b>16.69</b>	<b>2.22</b>	<b>15.34</b>
Cemento	5	5.77	0.77	15.40
Arena 1/2 "	0.28	0.32	0.04	14.29
Acelerante	5.19	5.99	0.8	15.41
Fibra de acero	4	4.61	0.61	15.25
<b>EQUIPOS</b>	<b>7.8</b>	<b>9</b>	<b>1.2</b>	<b>15.38</b>
Shotcretera	2.6	3	0.4	15.38
Scoop	5.2	6	0.8	15.38

## 7.2.2 Labores de Producción

Según el cuadro 16, se puede observar lo siguiente:

### 7.2.2.1 Costo de Perforación

El costo según el presupuesto para un tajo es de 4.23 USD/TM mientras que el real es de 4.35 USD/TM, esta variación se debe principalmente al rubro de equipos el cual es para el programado 2.65 USD/TM contra los 2.78 USD/TM de lo real, que representa el 105% del programado. Este aumento del costo en el rubro de equipos se debe a que el rendimiento en el avance por metro lineal conseguido con la perforación con jumbo es sólo de 2.74 m/disparo mientras que el presupuestado es de 2.88 m/disparo. El rendimiento real de perforación en tajos se optimizará mediante el control de los parámetros y factores de perforación como son el modo de perforación (adecuado paralelismo), ejecución de la perforación de acuerdo al diseño de la malla de perforación (espaciamiento y burden) y delineado o pintado de malla.

En el rubro de Insumos por Aceros de perforación se observa un incremento del costo de 0.11 USD/TM a 0.17 USD/TM debido principalmente al componente aguzadora de copas que presento una vida útil real 50% del presupuestado.

En el rubro Mano de obra se observa un incremento en el costo real por la supervisión del capataz de 0.25 USD/TM a 0.36 USD/TM, debido a que se opto tener mano de obra más calificada (personal de supervisión de campo técnico en lugar de empírico).

### 7.2.2.2 Costo de Voladura

El costo de voladura ha sido calculado respecto a los m<sup>3</sup> de material disparado y está relacionado con la cantidad de explosivo consumido, los m<sup>3</sup> de material obtenido producto del disparo y el avance realizado. Teniéndose un costo programado de voladura es 4.91 USD/m<sup>3</sup> mientras que el costo real es de 5.91 USD/m<sup>3</sup>.

El costo de insumos por material explosivo de acuerdo al presupuesto es de 2.24 USD/m<sup>3</sup> mientras que lo real es de 3.10 USD/m<sup>3</sup>, lo cual es el 138.4 % del costo programado en materiales de voladura, esto debido principalmente a que se

presupuesto consumir 24.8kg de explosivo emulnor por disparo, sin embargo se viene consumiendo 37.15kg por disparo.

El rendimiento real en voladura efectivamente será posible optimizar mediante el control de los parámetros de perforación y voladura (consumo de explosivos mediante una adecuada distribución de la carga explosiva), consiguiéndose un costo en voladura menor al actual.

### 7.2.2.3 Costo de limpieza-acarreo

El costo de limpieza-acarreo es con respecto a los  $m^3$  esponjados que serán trasladados por el equipo LHD de  $3.5 yd^3$  por ejemplo. El costo de limpieza-acarreo programado es de 4.40 USD/ $m^3$ , mientras que el real es de 5.86 USD/ $m^3$ , lo cual representa el 133.35% del programado. Esta variación del 33.35%USD/ $m^3$  en el costo de limpieza-acarreo se debe a que el rendimiento de limpieza –acarreo programado ( $m^3/h$ ) es un 25% superior al real que se está obteniendo, debiéndose esto a la falta de cámaras de carguío y/o acumulación cada 150m, gradientes de las labores no mayores a 12% y un adecuado material a cargar productos de una perforación y voladura controlada y optimizada en las etapas previas a la limpieza-acarreo.

### 7.2.2.4 Costo de sostenimiento con splitset

El costo del sostenimiento con pernos splitset es similar al presupuestado. El costo de sostenimiento con perno Split set en tajos será posible de reducir mediante las mejoras a realizar en la operación unitaria de perforación.

### 7.2.2.5 Costo de sostenimiento con shotcrete

El costo de sostenimiento con shotcrete es calculado con respecto al  $m^2$  cubierto y es similar al presupuestado, sin embargo no deja de ser caro debido a la cantidad de desperdicio ocasionado por el rebote (se presupuesto tener un rebote máximo por lanzado de shotcrete de un 40%, sin embargo se llega hasta un 48%), inadecuada manipulación de material, mala calidad de insumos (principalmente la

arena, ocasionando un aumento en la cantidad de cemento por m3) y mala práctica del lanzado.

**Cuadro 16. Costos de las operaciones unitarias en tajos**

DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTADO	REAL	VARIACIÓN	
FRENTE DE 3.5 X 3 M	<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>	$\Delta$	$\Delta\%$
	<b>(US\$/ML)</b>	<b>(US\$/ML)</b>	<b>(US\$/ML)</b>	<b>%</b>
<b>PERFORACIÓN</b>	<b>128.76</b>	<b>132.47</b>	<b>3.71</b>	<b>2.88</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	30.54	27.59	-2.95	-9.66
<b>TRABAJADORES</b>	30.54	27.59	-2.95	-9.66
Operador Jumbo	12.22	8.87	-3.35	-27.41
Ayudante	10.86	7.88	-2.98	-27.44
Capataz	7.47	10.84	3.37	45.11
<b>INSUMOS</b>	17.58	20.22	2.64	15.02
<b>ACEROS DE PERFORACIÓN</b>	3.3	5.23	1.93	58.48
Barra de extensión 14 pies	1.44	1.79	0.35	24.31
Broca de 45mm	0.37	0.47	0.1	27.03
Shank adapter	0.4	0.5	0.1	25.00
Coopling	0.29	0.36	0.07	24.14
Broca escareadora	0.07	0.07	0	0.00
Adapter piloto	0.04	0.04	0	0.00
Aguzadora de copas	0.69	2	1.31	189.86
<b>MATERIALES</b>	14.28	14.99	0.71	4.97
Mangas de ventilación de 30"	4.11	4.32	0.21	5.11
Alcayatas de 03 cuerpos	4.95	5.2	0.25	5.05
Tubos de pvc 1 1/2 x 3 mts	5.21	5.47	0.26	4.99
<b>EQUIPOS</b>	80.64	84.66	4.02	4.99
Jumbo (1 brazo)	80.64	84.66	4.02	4.99
FRENTE DE 3.5 X 3 M	<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>	$\Delta$	$\Delta\%$
	<b>(US\$/M3)</b>	<b>(US\$/M3)</b>	<b>(US\$/M3)</b>	<b>%</b>
<b>VOLADURA</b>	<b>4.91</b>	<b>5.91</b>	<b>1</b>	<b>20.37</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	2.67	2.81	0.14	5.24
<b>TRABAJADORES</b>	2.67	2.81	0.14	5.24
Cargador - Desatador	1.59	1.67	0.08	5.03
Capataz	1.09	1.14	0.05	4.59
<b>INSUMOS</b>	2.24	3.1	0.86	38.39
<b>EXPLOSIVOS</b>	2.24	3.1	0.86	38.39
Emulnorn 3000 1" x 16"	1.4	2.19	0.79	56.43
Fanel	0.77	0.82	0.05	6.49
Cordon detonante 3P	0.05	0.07	0.02	40.00
Mecha de seguridad	0.02	0.02	0	0.00
Fulminante	0.01	0.01	0	0.00
Conectores	0.01	0.01	0	0.00
Mecha rápida	0.00	0.00	0	

DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTADO	REAL	VARIACIÓN	
	TOTAL (US\$/M3)	TOTAL (US\$/M3)	Δ (US\$/M3)	Δ% %
<b>LIMPIEZA-ACARREO</b>	<b>4.4</b>	<b>5.86</b>	<b>1.46</b>	<b>33.18</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>0.96</b>	<b>1.28</b>	<b>0.32</b>	<b>33.33</b>
<b>TRABAJADORES</b>	<b>0.96</b>	<b>1.28</b>	<b>0.32</b>	<b>33.33</b>
Operador scoop	0.79	1.06	0.27	34.18
capataz	0.16	0.22	0.06	37.50
<b>EQUIPOS</b>	<b>3.44</b>	<b>4.59</b>	<b>1.15</b>	<b>33.43</b>
scoop (3.5yd3)	3.44	4.59	1.15	33.43
FRENTE DE 3.5 3 M	TOTAL (US\$/perno)	TOTAL (US\$/perno)	Δ (US\$/perno)	Δ% %
<b>SOSTENIMIENTO CON SPLIT SET</b>	<b>12.49</b>	<b>12.49</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>0.77</b>	<b>0.77</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
Operador de Jumbo	0.26	0.26	0	0.00
Ayudante de Jumbo	0.47	0.47	0	0.00
capataz	0.03	0.03	0	0.00
<b>MATERIALES</b>	<b>7.21</b>	<b>7.21</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
Barras de perforación 8pies	0.15	0.15	0	0.00
Broca 35mm	0.07	0.07	0	0.00
Shank adapter	0.06	0.06	0	0.00
Coopling	0.04	0.04	0	0.00
Perno split set	6	6	0	0.00
Adaptador perno	0.77	0.77	0	0.00
manga de 1"	0.12	0.12	0	0.00
<b>EQUIPOS</b>	<b>4.52</b>	<b>4.52</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
Jumbo (1brazo)	4.52	4.52	0	0.00
	TOTAL (US\$/m2)	TOTAL (US\$/m2)	Δ (US\$/m2)	Δ% %
<b>SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE</b>	<b>13.79</b>	<b>13.79</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>2.65</b>	<b>2.65</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
Capataz	0.55	0.55	0	0.00
Operador	0.45	0.45	0	0.00
Lanzador	0.45	0.45	0	0.00
Ayudante	1.2	1.2	0	0.00
<b>MATERIALES</b>	<b>7.24</b>	<b>7.24</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
Cemento	2.5	2.5	0	0.00
Arena 1/2 "	0.14	0.14	0	0.00
Acelerante	2.6	2.6	0	0.00
Fibra de acero	2	2	0	0.00
<b>EQUIPOS</b>	<b>3.9</b>	<b>3.9</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>
Shotcretera	1.3	1.3	0	0.00
Scoop	2.6	2.6	0	0.00

### 7.2.3 Comparación de Costos unitarios operativos del Presupuesto y Real

Como parte de la evaluación del ciclo de minado, se comparará el costo unitario presupuestado de cada operación unitaria con el costo unitario real, tanto en labores de desarrollo como en labores de producción.

**Cuadro 17. Cuadro comparativo que ilustra la diferencia entre los costos unitarios operativos del presupuesto y reales.**

COSTOS UNITARIOS DE LAS OPERACIONES EN TAJOS					
	COSTO PRESUPUESTADO	COSTO REAL	Δ COSTO	UNIDAD	Δ PORCENTUAL %
PERFORACION	4.23	4.35	0.12	US\$/TM	2.84
VOLADURA	4.91	5.91	1	US\$/M <sup>3</sup>	20.37
LIMPIEZA-ACARREO	4.4	5.86	1.46	US\$/M <sup>3</sup>	33.18
SOSTENIMIENTO SPLIT SET	12.49	12.49	0	US\$/perno	0.00
SOSTENIMIENTO SHOTCRETE	13.79	13.79	0	US\$/M <sup>2</sup>	0.00

COSTOS UNITARIOS DE LAS OPERACIONES EN LABORES DE AVANCE					
	COSTO PRESUPUESTADO	COSTO REAL	Δ COSTO	UNIDAD	Δ PORCENTUAL %
PERFORACION	160.97	125.04	-35.93	US\$/ML	-22.32
VOLADURA	9.27	7.15	-2.12	US\$/M <sup>3</sup>	-22.87
LIMPIEZA-ACARREO	3.87	5.16	1.29	US\$/M <sup>3</sup>	33.33
SOSTENIMIENTO SPLIT SET	12.49	12.49	0.00	US\$/perno	0.00
SOSTENIMIENTO SHOTCRETE	27.6	31.81	4.21	US\$/M <sup>2</sup>	15.25

Para totalizar los costos unitarios de las operaciones en tajos y avances, expresaré los costos unitarios en US\$ por TM, donde TM representará las toneladas de mineral que el área de Mina entrega mensualmente a Planta para su tratamiento. Para ello consideraremos los factores de Producción promedios globales de la mina durante un mes de operación.

FACTORES DE PRODUCCIÓN PROMEDIOS MENSUALES				
OPERACIONES UNITARIAS	Cantidad	Unidad	Factor de Producción	Unidad
<b>En Perforación</b>				
Metros de avance	1170.00	ML	0.02	ML/TM
Mineral explotado por breasting	60000	TM	85	%
Pies perforados en labores de Avance	179983.75	pies	2.40	pies/TM
Pies perforados en labores de Producción	275533.75	pies	3.67	pies/TM
<b>En Voladura</b>				
Metros cubicos de desmonte roto en labores de Avance	14000	m3	0.19	m3/TM
Metros cubicos de mineral roto en labores de Producción	21428.57	m3	0.29	m3/TM
<b>En Limpieza</b>				
Metros cubicos de desmonte limpiados en labores de Avance	19600	m3	0.26	m3/TM
Metros cubicos de mineral limpiados en labores de Producción	30000	m3	0.40	m3/TM
<b>En Sostenimiento con perno split set</b>				
Pernos spliset sostenidos en labores de Avance	3316.69	perno	0.04	perno/TM
Pernos spliset sostenidos en labores de Producción	4580.19	perno	0.06	perno/TM
<b>En Sostenimiento con Shotcrete</b>				
Metros cuadrados sostenidos en labores de Avances	4025	m2	0.05	m2/TM
Metros cuadrados sostenidos en labores de Producción	1725	m2	0.02	m2/TM
<b>Tonelaje de Mineral mensual entregado a Planta</b>	<b>75000</b>	<b>TM</b>		

**Cuadro 18. Cuadro comparativo que ilustra la diferencia entre los costos unitarios operativos del presupuesto y reales expresados en \$/TM y que muestra la totalización de los costos unitarios de minado en estudio.**

COSTOS UNITARIOS DE LAS OPERACIONES EN TAJOS					
OPERACIONES UNITARIAS	COSTO PRESUPUESTADO	COSTO REAL	Δ COSTO	UNIDAD	Δ PORCENTUAL %
PERFORACIÓN	3.60	3.70	0.10	US\$/TM	2.84
VOLADURA	1.40	1.69	0.29	US\$/TM	20.37
LIMPIEZA-ACARREO	1.76	2.34	0.58	US\$/TM	33.18
SOSTENIMIENTO SPLIT SET	0.76	0.76	0.00	US\$/TM	0.00
SOSTENIMIENTO SHOTCRETE	0.32	0.32	0.00	US\$/TM	0.00
<b>TOTAL COSTO UNITARIO</b>	<b>7.84</b>	<b>8.81</b>	<b>0.97</b>	<b>US\$/TM</b>	<b>12.40</b>

COSTOS UNITARIOS DE LAS OPERACIONES EN LABORES DE AVANCE					
OPERACIONES UNITARIAS	COSTO PRESUPUESTADO	COSTO REAL	Δ COSTO	UNIDAD	Δ PORCENTUAL %
PERFORACIÓN	2.51	1.95	-0.56	US\$/TM	-22.32
VOLADURA	1.73	1.33	-0.40	US\$/TM	-22.87
LIMPIEZA-ACARREO	1.01	1.35	0.34	US\$/TM	33.33
SOSTENIMIENTO SPLIT SET	0.55	0.55	0.00	US\$/TM	0.00
SOSTENIMIENTO SHOTCRETE	1.48	1.71	0.23	US\$/TM	15.25
<b>TOTAL COSTO UNITARIO</b>	<b>7.29</b>	<b>6.89</b>	<b>-0.39</b>	<b>US\$/TM</b>	<b>-5.40</b>

Es importante resaltar que estos costos operativos unitarios de minado incluyen el uso por equipos, la depreciación de equipos, la mano de obra, materiales e insumos, sin embargo no incluye los costos unitarios por servicios auxiliares ( suministro de caudal de agua, aire y relleno hidráulico) y energía (suministro de energía a través de las subestaciones). Por ejemplo en el caso de la perforación el costo por uso del equipo de perforación jumbo se calculo sumando el costo fijo que consiste en el costo de posesión y el costo por servicio de mantenimiento mecánico; con el costo variable que es la suma del costo de repuestos por mantenimiento con el costo por insumos (grasas, aceites, petróleo), dependiendo el costo variable de las horas de percusión del equipo por mes, siendo en promedio 200 horas de percusión. Los costos por aceros de perforación (brocas de 45mm, barreno de perforación, shank adapter, cooping, broca rimadora de 2", adapter piloto y aguzadora de copas) se considerará como el costo por insumos de la perforación y sus costos unitarios se calcularan en función del precio unitario de cada acero de perforación, la vida útil del acero y el rendimiento de la perforación.

Como se explico en el análisis de los costos unitarios de las operaciones unitarias del ciclo de minado, en la perforación y voladura en las labores de avance se observa una aparente reducción de los costos unitarios reales frente a los presupuestados, esto debido a que se presupuestaron las operaciones unitarias con rendimientos muy

por debajo de los reales obtenidos. Así mismo se observa que todos los costos unitarios en las labores de Producción son superiores a los presupuestados.

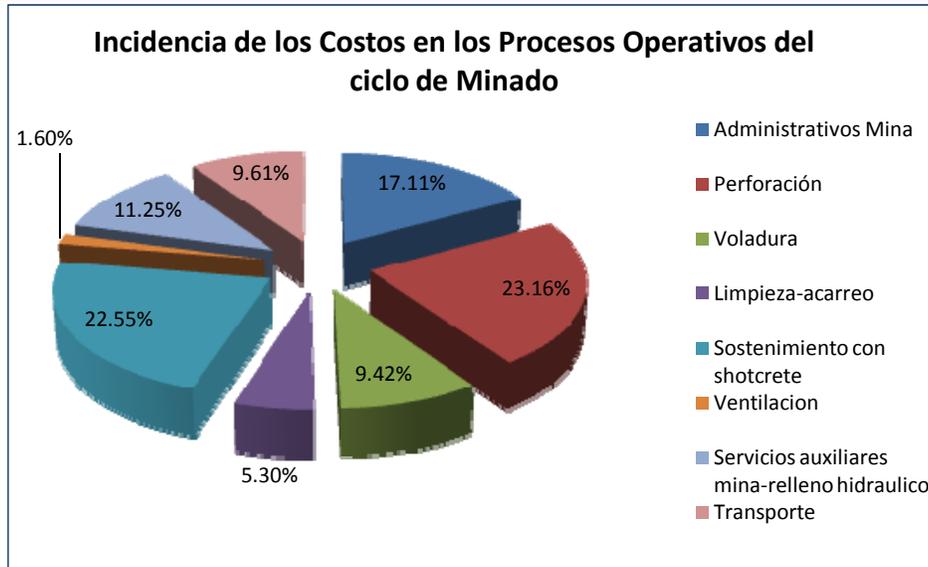
#### 7.2.4 Costo unitario de Mina real

A continuación se detallará la estructura de costos unitarios operativos que conforman el costo unitario total de Mina que se viene obteniendo en la operación.

La estructura de costos unitarios que conforman el costo unitario total del ciclo de minado para labores de producción donde se aplica shotcrete como sostenimiento. Los costos unitarios de las operaciones unitarias de minado están expresados en \$/TM para una adecuada comparación entre los mismos y conocer su grado de incidencia en el costo total del ciclo de minado. A los costos operativos de perforación, voladura, limpieza-acarreo y sostenimiento, se les agregan los costos de administración mina, servicios auxiliares con relleno hidráulico, ventilación y transporte.

**Cuadro 19. Cuadro que ilustra la estructura de costos unitarios de mina en labores de producción donde se aplica sostenimiento con shotcrete.**

Procesos Operativos	Costo Unitario \$/TM	Grado de incidencia %
Administrativos Mina	3.74	17.11
Perforación	5.06	23.16
Voladura	2.06	9.42
Limpieza-acarreo	1.16	5.30
Sostenimiento con shotcrete	4.93	22.55
Ventilacion	0.35	1.60
Servicios auxiliares mina-relleno hidraulico	2.46	11.25
Transporte	2.10	9.61
Costo unitario del ciclo de minado	21.86	100

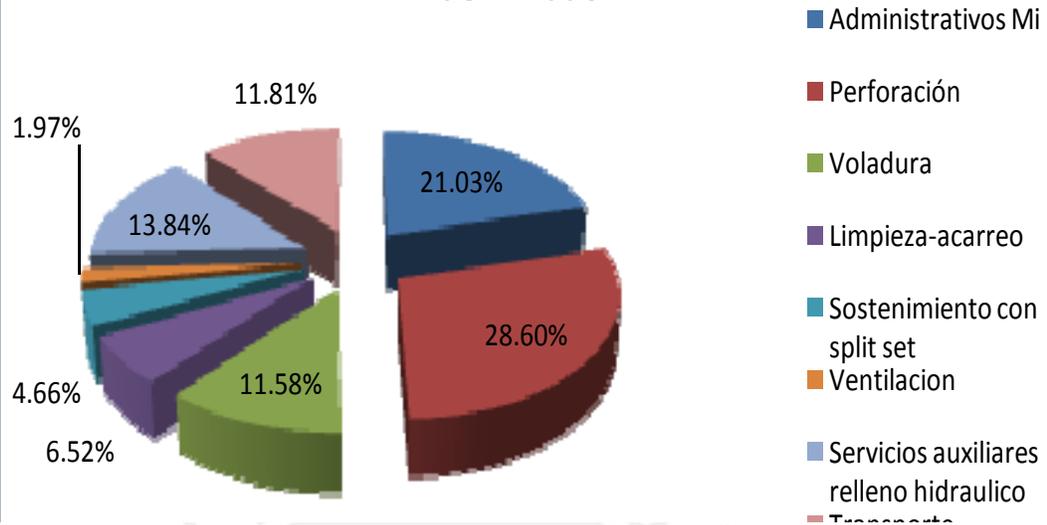


Del mismo modo se presenta la estructura de costos unitarios que conforman el costo unitario total del ciclo de minado para labores de producción donde se aplica el sostenimiento con perno splitset.

**Cuadro 19. Cuadro que ilustra la estructura de costos unitarios de mina en labores de producción donde se aplica sostenimiento con perno splitset.**

Procesos Operativos	Costo Unitario \$/TM	Grado de incidencia %
Administrativos Mina	3.74	21.03
Perforación	5.08	28.60
Voladura	2.06	11.58
Limpieza-acarreo	1.16	6.52
Sostenimiento con perno split set	0.83	4.66
Ventilacion	0.35	1.97
Servicios auxiliares mina-relleno hidraulico	2.46	13.84
Transporte	2.10	11.81
Costo unitario del ciclo de minado	17.78	100

### Incidencia de los Costos en los Procesos Operativos del ciclo de Minado

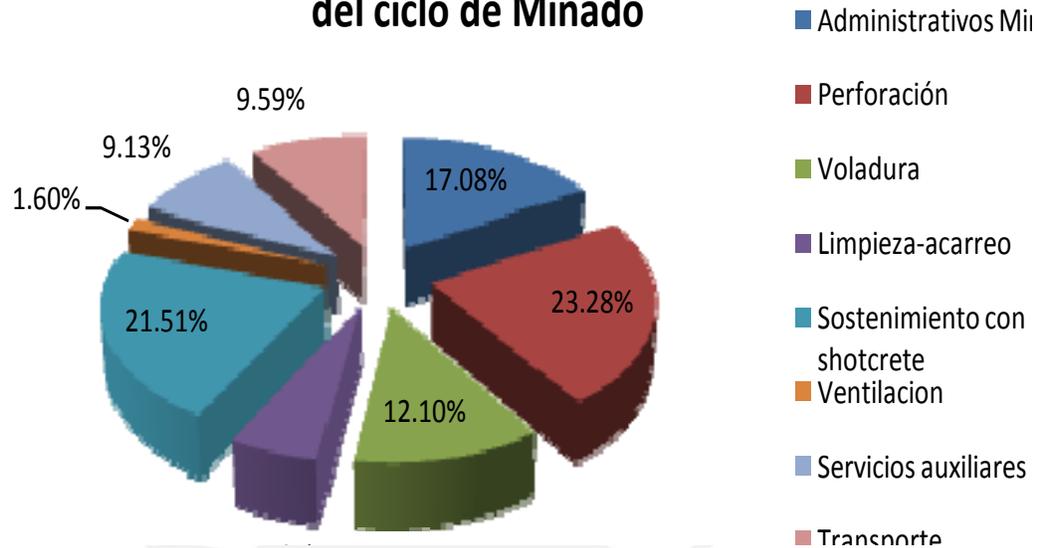


Para labores de desarrollo se muestra la estructura de costos unitarios que conforman el costo unitario total del ciclo de minado donde se aplica shotcrete como sostenimiento. Del mismo modo a estos costos operativos de perforación, voladura, limpieza-acarreo y sostenimiento, se les agregan los costos de administración mina, servicios auxiliares, ventilación y transporte.

**Cuadro 19. Cuadro que ilustra la estructura de costos unitarios de mina en labores de desarrollo donde se aplica sostenimiento con shotcrete.**

Procesos Operativos	Costo Unitario \$/TM	Grado de incidencia %
Administrativos Mina	3.74	17.08
Perforación	5.10	23.28
Voladura	2.65	12.10
Limpieza-acarreo	1.25	5.70
Sostenimiento con shotcrete	4.71	21.51
Ventilacion	0.35	1.60
Servicios auxiliares mina	2.00	9.13
Transporte	2.10	9.59
Costo unitario del ciclo de minado	21.89	100

## Incidencia de los Costos en los Procesos Operativos del ciclo de Minado

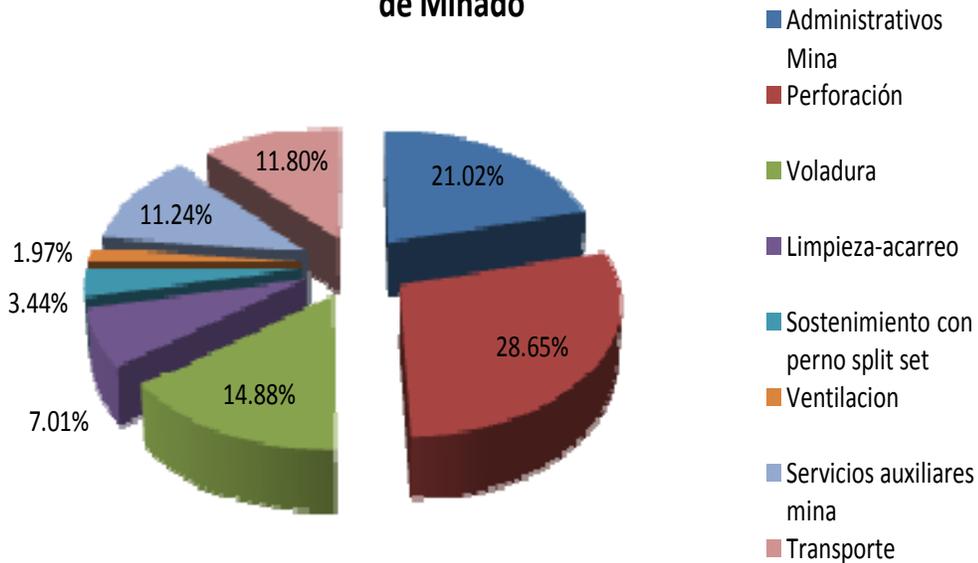


Del mismo modo se presenta la estructura de costos unitarios que conforman el costo unitario total del ciclo de minado para labores de desarrollo donde se aplica el sostenimiento con perno splitset.

**Cuadro 20. Cuadro que ilustra la estructura de costos unitarios de mina en labores de desarrollo donde se aplica sostenimiento con perno splitset.**

Procesos Operativos	Costo Unitario \$/TM	Grado de incidencia %
Administrativos Mina	3.74	21.02
Perforación	5.10	28.65
Voladura	2.65	14.88
Limpieza-acarreo	1.25	7.01
Sostenimiento con perno split set	0.61	3.44
Ventilacion	0.35	1.97
Servicios auxiliares mina	2.00	11.24
Transporte	2.10	11.80
Costo unitario del ciclo de minado	17.80	100

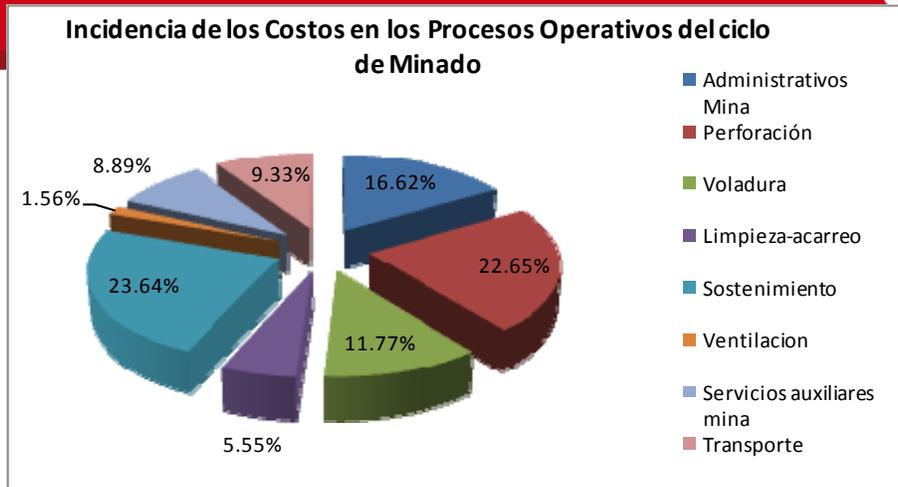
### Incidencia de los Costos en los Procesos Operativos del ciclo de Minado



Agrupando los costos de sostenimiento con perno splitset con sostenimiento con shotcrete como un único costo de sostenimiento y expresando todos los costos unitarios de los procesos productivos en \$/TM, la estructura de costos unitarios que conforman el costo unitario total de ciclo de minado o costo unitario de mina para labores de desarrollo y de producción sería:

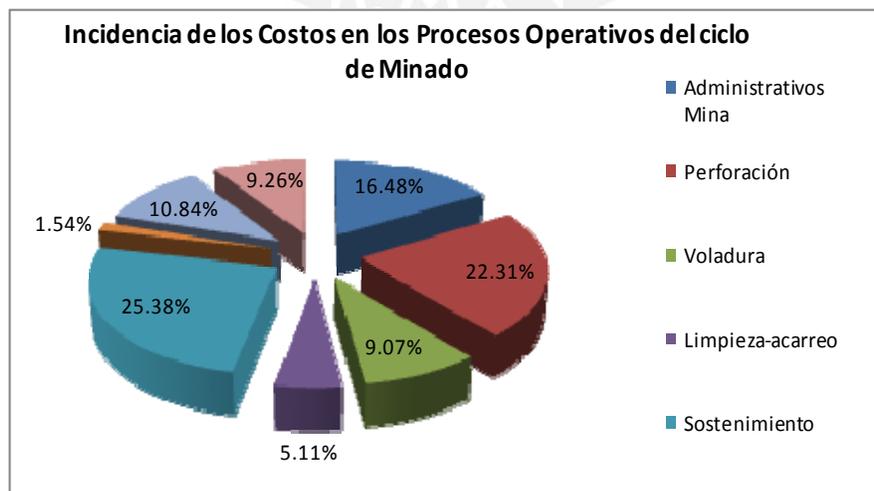
**Cuadro 21. Cuadro que ilustra la estructura de costos unitarios de mina en labores de desarrollo**

Procesos Operativos	Costo Unitario	Grado de incidencia
	\$/TM	%
Administrativos Mina	3.74	16.62
Perforación	5.10	22.65
Voladura	2.65	11.77
Limpieza-acarreo	1.25	5.55
Sostenimiento	5.32	23.64
Ventilación	0.35	1.56
Servicios auxiliares mina	2.00	8.89
Transporte	2.10	9.33
Costo unitario del ciclo de minado	22.50	100



**Cuadro 22. Cuadro que ilustra la estructura de costos unitarios de mina en labores de producción**

Procesos Operativos	Costo Unitario \$/TM	Grado de incidencia %
Administrativos Mina	3.74	16.48
Perforación	5.06	22.31
Voladura	2.06	9.07
Limpieza-acarreo	1.16	5.11
Sostenimiento	5.76	25.38
Ventilacion	0.35	1.54
Servicios auxiliares mina-relleno hidraulico	2.46	10.84
Transporte	2.10	9.26
Costo unitario del ciclo de minado	22.69	100



**Cuadro 23. Cuadro Resumen que ilustra los costos unitarios, antes del proceso de optimización de los mismos.**

Costos Unitarios	Costo Unitario \$/TM
Costo Unitario Mina en Labores de Producción (sostenimiento split set)	17.78
Costo Unitario Mina en Labores de Producción (sostenimiento shotcrete)	21.86
Costo Unitario Mina en Labores de Desarrollo (sostenimiento split set)	17.8
Costo Unitario Mina en Labores de Desarrollo (sostenimiento shotcrete)	21.89
Costo Unitario Mina en Labores de Desarrollo	22.5
Costo Unitario Mina en Labores de Producción	22.69

Es importante resaltar que estos costos unitarios incluyen el costo por uso de equipos, depreciación de los equipos, energía, servicios auxiliares, mano de obra e insumos.

## 8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES DE LA EVALUACIÓN OPERATIVA

### 8.1 Observaciones

- En lo que respecta a labores de desarrollo donde se sostiene con shotcrete, se observa que las operaciones unitarias de perforación, voladura, limpieza y sostenimiento con shotcrete suman 13.7 \$/TM y representan el 62.6% del costo total del ciclo de minado.
- En lo que respecta a ciclo de minado en labores de desarrollo donde se sostiene con pernos splitset se observa que las operaciones unitarias de perforación, voladura, limpieza y sostenimiento con perno splitset suman 9.6 \$/TM y representan el 54% del costo total del ciclo de minado.
- En lo que respecta a labores de producción donde se sostiene con shotcrete, se observa que las operaciones unitarias de perforación, voladura, limpieza y sostenimiento con shotcrete suman 13.2 \$/TM y representan el 60% del costo total del ciclo de minado.
- En lo que respecta a labores de producción donde se sostiene con perno splitset, se observa que las operaciones unitarias de perforación, voladura, limpieza y sostenimiento con perno splitset suman 9.2 \$/TM y representan el 51% del costo total del ciclo de minado.

- La perforación y voladura en frentes y tajos, presenta problemas en lo que respecta al avance obtenido ( tanto en metros de avance obtenidos producto del disparo o en las toneladas rotas obtenidas producto también del disparo), debiéndose esto a la falta de control en el diseño de la malla de perforación (delineado o marcado de los puntos donde se debe perforar cada taladro, en base al espaciamiento y burden establecido), control del modo de perforación (paralelismo entre taladros y con la estructura mineralizada, perforación completa penetrando todo el barreno de perforación), control de la distribución de la carga explosiva en la mina y adecuada secuencia de salida explosiva en la voladura.
- El factor de carga o factor de potencia es una variable que aun no se ha podido controlar en esta mina estudio, debiéndose esto principalmente a que a una escala multinivel se desconoce o no se prioriza la importancia de las variables de perforación y a su interacción con la voladura.
- Otro grave problema generalizado en la mina esta en el manipuleo de explosivos, es decir de la distribución de la carga explosiva en mina, la cual se debe a que los supervisores de operaciones piden una cantidad excesiva de explosivos (debido a la falta de capacitación y entrenamiento en temas de perforación y voladura) al polvorín y el remanente de mina no se interna nuevamente al polvorín. Situación que además de generar un sobrecosto de voladura por materiales, genera también una condición subestandar de la seguridad en mina.
- En lo que respecta a la limpieza y acarreo se han detectado que los equipos LHD trabajan a un bajo rendimiento debido a que no se realizan cámaras de acumulación cada 150m, es así que se encuentra que los equipos LHD recorren distancias de más de 200m, llegando hasta 600m. Esto ya no se considera limpieza sino acarreo, para lo cual no está diseñado el equipo LHD. Con una distancia adecuada de limpieza y una pendiente no mayor a 12% se puede obtener rendimientos de 24.4 m<sup>3</sup>/h en frentes de avance y tajos.
- En el sostenimiento con perno splitset, se detecta su aplicación en labores permanentes como es el caso de frentes de avance en rampas y labores de desarrollo, sin embargo esto es una mala práctica debido a que este perno

se ha diseñado para aplicarse en labores temporales como son los tajos de explotación. Es por ello que se debe evaluar la utilización de pernos helicoidales en labores permanentes.

- En el sostenimiento con shotcrete existe una serie de problemas en su aplicación debido a la baja calidad de los insumos del shotcrete (sobre todo la arena, la cual ocasiona que se aumente la cantidad de otros insumos como es el caso del cemento) y al modo de aplicación o lanzado del shotcrete (se recomienda una distancia de lanzado del shotcrete vía seca no mayor a 1.5m). El rebote medido en campo es de 48%, sin embargo el programado es de 40%. Un rebote aceptable para un shotcrete vía seca es no mayor al 30%.
- Se debe evaluar utilizar el shotcrete vía húmeda para los frentes de avance, ya que presenta un mayor rendimiento en su aplicación, así como un menor rebote (15% máximo).

## 8.2 Recomendaciones

### 8.2.1 En Perforación

- Diseñar y dar a conocer una malla de perforación para cada aplicación de voladura. Por ejemplo en el caso de frentes de avance para voladura subterránea en túnel con arranque de cuatro secciones (método de cuadrados y rombos inscritos con arranque por corte quemado en rombo) como se realiza en la mina en estudio, estableceremos los siguientes parámetros de diseño de la malla de perforación y voladura en base al diseño de perforación y voladura acertado y recomendado en el Manual de Perforación y Voladura de Rocas de López Jimeno y el Manual Práctico de Voladura de EXSA:

**Establecimiento de los Parámetros de Perforación que definen la Malla de Perforación en frentes de avance o túneles subterráneos**

**Esquemas de arranque en frentes**

**Primer caso**

**Segundo caso - Real**

Donde:

- $\phi$ : Diametro del taladro de alivio
- a1: burden del primer corte
- a2: burden del segundo corte
- a3: burden del tercer corte
- a4: burden del cuarto corte
- L1: Espaciamiento del primero corte
- L2: Espaciamiento del segundo corte
- L3: Espaciamiento del tercer corte
- L4: Espaciamiento del cuarto corte

Sección del corte	1	2	3	4
a	1.5 $\phi$	2.12 $\phi$	4.5 $\phi$	9.54 $\phi$
L	2.12 $\phi$	4.5 $\phi$	9.54 $\phi$	20.23 $\phi$

Para nuestra escariadora de 3.5" tendremos los siguientes valores a de a y L en centímetros:

Sección del corte	1	2	3	4
a	13.34	18.85	40.01	84.81
L	18.85	40.01	84.81	179.84

Sin embargo en nuestra mina ejemplo de estudio se realizan dos taladros de alivio en los frentes, esto como medida para disminuir el riesgo de detonación por simpatía, debido a la alta presencia de aguas subterráneas y por discontinuidades estructurales del macizo rocoso.

Por ello nuestros parámetros de perforación (valores de a y L) variarán especialmente en los ejes "X" e "Y", y a1 será definido como la distancia del centroide de la malla de perforación hacia el primer taladro de producción de nuestra malla con arranque de 2 taladros de alivio.

Sección del corte	1	2	3	4
a	2.25 $\phi$	3.18 $\phi$	6.75 $\phi$	14.31 $\phi$
L	3.18 $\phi$	6.75 $\phi$	14.31 $\phi$	30.35 $\phi$

Nuestros valores de espaciamento y burden que definen la malla de perforación en frentes de avance y/o túneles serán:

Sección del corte	1	2	3	4
a	20.00	28.27	60	127.22
L	28.27	60.00	127.22	269.81

En el caso del diseño de la malla de perforación y voladura en realces y breasting (perforación y voladura de producción) está se definirá en base a las recomendaciones y definiciones concluidas en los estudios de William A. Hustrulid su libro *Underground Mining Methods Engineering Fundamentals and International Cases Studies*, y en los estudios de voladura del doctor Ash.

**Establecimiento de los Parámetros de Perforación que definen la Malla de Perforación en labores de Producción**

Entendiéndose en terminos generales que este esquema de malla de perforación se aplica a voladuras de producción de breasting y realce (entendiéndose este caso como vista de planta).

Donde :

B: Burden  
E: Espaciamiento  
φ: Diámetro del taladro de producción.

William A. Hustrulid establece la aplicación de la formula de Ash en mineria subterranea de producción a través de la reducción del factor Kb (factor que depende del tipo de roca y tipo de explosivo empleado) de la formula Ash.

Tendremos :

$B = Kb * \phi$

$E = 1.3 * B$

Tipo de Explosivo	Densidad (g/cm3)	Clase de Roca		
		Blanda	Media	Dura
Baja densidad y potencia	0.8 a 0.9	30	25	20
Densidad y potencia media	1 a 1.2	35	30	25
Alta densidad y potencia	1.2 a 1.6	40	35	30

El explosivo empleado casi en su totalidad en toda nuestra mina en estudio es emulnor 3000 ( con denidad 1.14 gr/cm3) por motivos de alta presencia de agua subterranea y por el poder rompedor que esta emulsión explosiva ofrece (920Kcal/kg). Entonces nuestro factor Kb será 25.

Por tanto, para un diametro de taladro de producción  $\phi = 45\text{mm}$ , tendremos los siguientes valores de espaciamiento y burden que definen la malla de perforación y voladura para labores de producción.

$B = 1.1\text{m}$

$E = 1.40\text{m}$

Sin embargo los valores de B y E calculados son recomendados sobretodo para perforación y voladura en realce, para el caso de breasting estos valores deberán ser "reducidos o castigados" debido a la geometria de la sección ( la parte superior de la sección del breasting es similar a un frente y no a un rectángulo), la presencia de la cara libre en la parte inferior de la sección del breasting, por tanto nuestros valores de B y E que definen la malla de perforación y voladura en breasting serán:

$B = 0.77\text{m}$

$E = 0.9\text{m}$

- Marcado o delineado de la malla de perforación. Esto asegurará establecer y marcar el espaciamiento y burden en el terreno, afín que el operador del jumbo (perforista) ejecute la perforación del taladro en la ubicación correcta.
- Control del paralelismo en la perforación a través de marcado topográfico de la dirección a seguir, mantenimiento o incorporación del sistema de paralelismo automático de los jumbos, uso de guidores como pueden ser tubos de PVC o los mismos atacadores de madera para comparar el paralelismo entre cada taladro que se va perforando.
- Programa de capacitación a los perforistas y personal de voladura en centros de capacitación minera como en el Centro Tecnológico Minero CETEMIN y en los cursos programados del Centro Tecnológico de voladura EXSA – CTVE, etc. Programa de capacitación para supervisores de compañía y residentes de contrata en centros tecnológicos similares como Centro Tecnológico de voladura EXSA – CTVE, Centro Tecnológico Minero CETEMIN y en los cursos de especialización del Instituto de Capacitación Minera del Colegio de Mineros del Perú, Cursos de Especialización de the Society for Mining, Metallurgy and Exploration SME dictados en la Sección de Ingeniería de Minas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, etc.
- Los aceros de perforación como los barrenos deben ser protegidos contra la corrosión y el polvo, y deben ser almacenados en caballetes especiales.
- No se deben utilizar elementos de perforación desgastados porque provocarían un desgaste prematuro de los aceros de perforación que si están nuevos, debido a que se desgastarían las roscas que estarán en contacto.
- Los acoplamientos entre los aceros de perforación deben estar adecuadamente ajustados u apretados para tener una adecuada transmisión de la energía y evitar problemas por sobrecalentamientos.
- Continuar con un afilamiento constante y continuo de las brocas, teniéndose las aguzadoras en ubicaciones estratégicas donde puedan afilarse el total de brocas que se requiere diariamente emplear y puedan entregarse a tiempo las brocas afiladas a las labores donde se le requiere. Con el afilado las brocas de 45mm que se emplean pueden llegar a durar en promedio un

25% más de su vida útil, es decir de 2800 pies perforados a 3500 pies perforados por broca.

### 8.2.2 En Voladura

- Control del explosivo que sale del polvorín hacia la labor y devolución del remanente. Este control del explosivo se realiza a través de dos fases, el primer control será con la generación de vales de salida que firman los ingenieros de operaciones mina donde se autoriza la cantidad adecuada de explosivos a emplear en una voladura específica, es decir kg de explosivos y cantidad de accesorios de voladura necesarios para romper toneladas de mineral o desmonte esperadas a través de un determinado número de taladros a cargar; del mismo modo que el remanente que no se empleo debe ser devuelto de inmediato a fin de evitar la creación de una condición subestandar en la labor de trabajo y evitar la merma o mala utilización de los explosivos y accesorios de voladura. La segunda fase es una constatación por parte de la Superintendencia de Mina y el área de Planeamiento Mina que la cantidad de explosivos y accesorios de voladura consumidos semanal o mensualmente están de acuerdo con las toneladas de mineral o desmonte producidos con las voladuras especificadas en los vales registrados en un sistema informático.
- Para los taladros de producción en promedio el carguío debe ser en promedio las 2/3 partes de la longitud del taladro (66%) como establece el Manual Práctico de voladura de Exsa y a su vez el manual de Perforación y Voladura de Rocas de López Jimeno. Esta cantidad es suficiente para obtener una adecuada fragmentación de roca y el tonelaje de mineral roto por taladro acorde al diámetro del taladro, espaciamiento y burden establecidos.
- Diseñar la malla de voladura en la cual se vea la secuencia de salida de los taladros en base a sus respectivos tiempos de retardo y la cantidad de explosivo por taladro.
- Para el caso de galerías y rampas se debe hacer **smooth blasting** lo cual garantice la obtención de una buena corona y un buen contorneo de los hastiales. En el caso del **smooth blasting** ver la opción de utilizar explosivo

de menor potencia (emulsión de 1000) para los contornos, así como el uso de cañas.

- Realizar un estudio de la granulometría del material disparado.
- El consumo de explosivos objetivo debe ser  $0.97\text{kg/m}^3$  de material disparado en las labores de producción, y en los desarrollos de  $1.52\text{kg/m}^3$ .
- Realizar pruebas de la medición de la velocidad de detonación de los explosivos, para conocer la variación entre el valor real medido y el valor que da el fabricante.
- Los faneles deben ser distribuidos de tal manera, que sus respectivos tiempos de retardo que se colocan en cada taladro de la malla de voladura de producción, no deben ser números continuos, con el objetivo de evitar que se produzcan fallas por la dispersión.
- Revisar siempre que no se tengan lotes de explosivos y accesorios de voladura vencidos y/o deteriorados.

### 8.2.3 En Limpieza-acarreo

- Diseñar y construir cámaras cada 150 m para evitar el exceso de acarreo y la disminución del rendimiento en la limpieza. Con estas cámaras cada 150m por ejemplo para un scoop de  $3.5\text{Yd}^3$  aseguraremos obtener rendimientos de limpieza de  $24.37\text{m}^3/\text{h}$  en contraste a rendimientos menores de  $20\text{m}^3/\text{h}$  cuando el equipo tiene que recorrer distancias de incluso 400m. Del mismo modo estas cámaras de acumulación permitirán agilizar el nuevo inicio del ciclo de minado de la labor que se está limpiando. Estos rendimientos superiores serán soportados con el mantenimiento y desarrollo de vías con gradientes mayores a 12%, ya que gradientes superiores contribuyen a la disminución del ciclo de limpieza y por tanto al rendimiento.

### 8.2.4 En Sostenimiento

- En las labores permanentes como es el caso de frentes de avance se debe utilizar pernos helicoidales en lugar de pernos splitset que son para labores temporales. Los pernos helicoidales presentan una mayor resistencia al

arranque (4t/pie), en lugar de los splitset (1t/pie) que son para labores temporales.

- En el caso del sostenimiento con shotcrete, se debe tener bastante cuidado con los insumos. La calidad de los insumos es muy importante para tener un concreto de resistencia adecuada (210 kg/m<sup>2</sup>). El problema radica en la calidad de la arena, la cual hace que se utilice mayor cantidad de cemento y por ende aumentando el costo por m<sup>2</sup> lanzado. Se debe evaluar optar por otro proveedor de arena de mejor calidad (mejor estructura granulométrica) que permitan asegurar una adecuada impermeabilidad y alta resistencia del concreto.
- En el caso de labores permanentes se debe cambiar de vía seca a vía húmeda, ya que genera menor cantidad de rebote (15%) y se tiene un concreto de mejor calidad ya que la mezcla con el agua se genera en la mezcladora y no a la salida de la pistola como es el caso de la vía seca. Por otro lado el shotcrete vía húmeda tiene un rendimiento de 4.5m<sup>3</sup>/h vs. 1.67 m<sup>3</sup>/h del vía seca.

## **9 CICLO DE MINADO OPTIMIZADO Y REDUCCIÓN DE LOS COSTOS MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN INICIAL DE LOS ESTANDARES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.**

La reducción de los costos de las operaciones unitarias del ciclo de minado se logra mediante la optimización los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura, lo que acarrea que el rendimiento e indicadores de productividad se incrementen en cada una de las operaciones unitarias, realizándose para ello mejores procedimientos de trabajo.

Las mejoras se concretan con el control e implementación de los factores de éxito (con sus correspondientes estándares de trabajo, los mismos que son consecuencias de la aplicación de estas mejores prácticas de trabajo) en las operaciones unitarias de minado. Estos factores de éxito son esencialmente referidos a la perforación y voladura, y se les puede dividir en dos importantes grupos directamente relacionados y complementados, refiriéndose el primer grupo

al seguimiento y control operativo; y el segundo grupo al factor humano mediante la capacitación y creación de conciencia.

### **1.- Seguimiento y control operativo**

- Cumplimiento del Diseño de la Malla de Perforación para cada aplicación de voladura.
- Perforación eficiente y según la demarcación de la malla de perforación en campo.
- Adecuada secuencia miento de los retardos de cada taladro en la malla de voladura, y adecuado carguío de los taladros.
- Adecuada distribución de la carga explosiva en Mina.

### **2.- Capacitación y creación de conciencia**

La capacitación y creación de conciencia en los trabajadores de la empresa consiste en invertir en activos intangibles, es decir en aquellos que constituyen la principal fuente de diferenciación o de creación de ventajas competitivas sostenibles para la empresa. Esta capacitación se materializa en charlas y cursos sobre las operaciones de minado, ahorro en costos, reducción de las mermas y buenos procedimientos de trabajo.

Entre los beneficios que trae la capacitación a la organización minera se menciona:

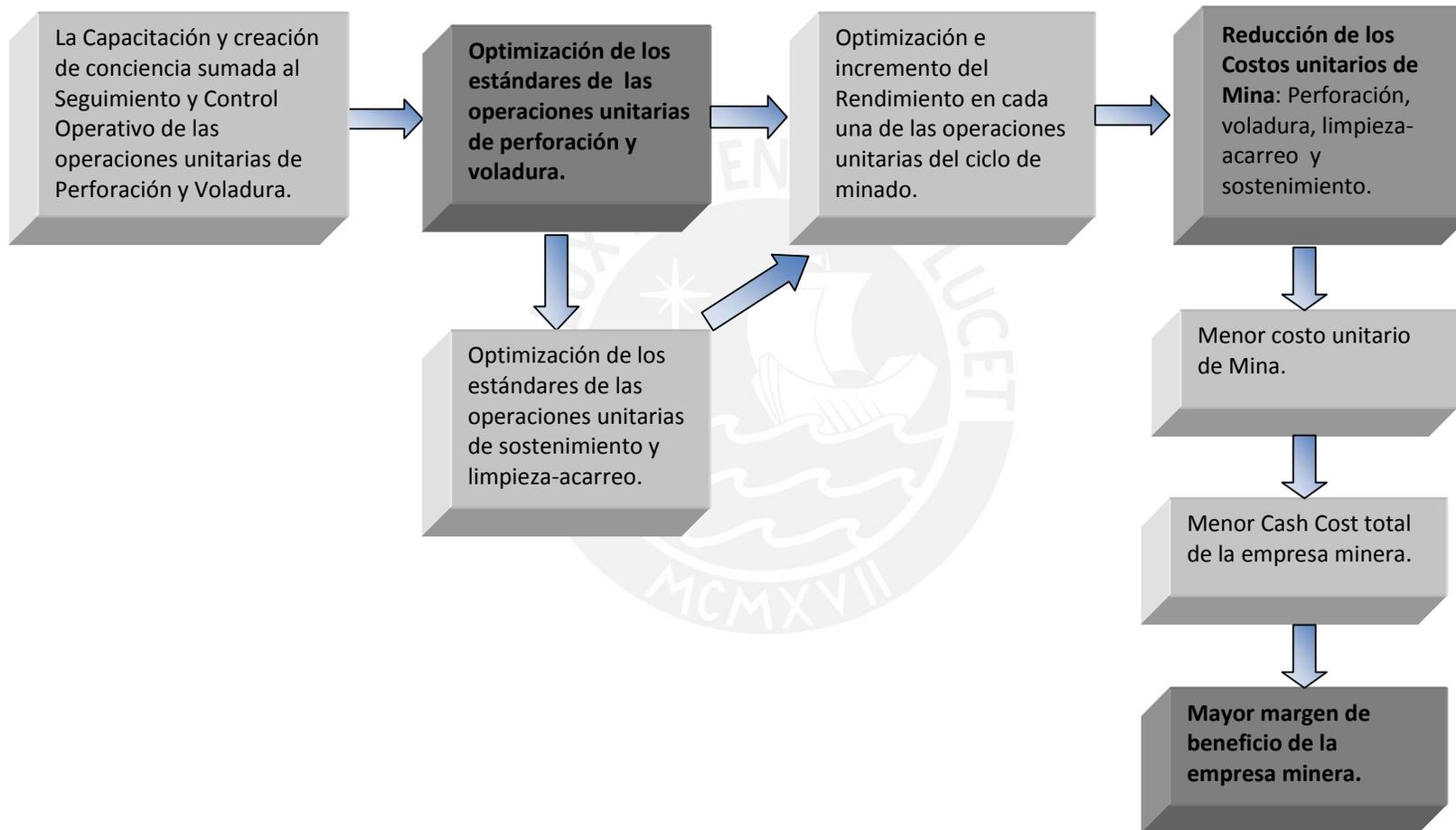
- Mejor conocimiento de las tareas, procesos y funciones en todos los niveles.
- Ayuda al personal a identificarse con los objetivos y metas de la organización.
- Promueve la comunicación en toda la organización.
- Ayuda a mantener bajos costos en diferentes áreas. En especial en las operaciones de Mina.

- Incrementa la calidad y productividad del trabajo en cada proceso productivo de minado.

A continuación se ilustra la cadena de optimización de los procesos productivos.



**Cadena productiva de optimización de las operaciones unitarias mina y reducción de costos.**



### 9.1 Ciclo de minado optimizado y reducción de sus costos.

La optimización es posible en principio mediante el incremento de la productividad y del rendimiento en la perforación y voladura, esto como consecuencia de optimizar la malla de perforación y/o voladura, a través de una perforación que cumpla con el burden, espaciamiento, inclinación, longitud del taladro establecidos, las características propias de la máquina de perforación y el tipo de roca; en voladura se debe realizar un adecuado consumo de explosivos que se vea reflejado en un factor de carga y/o potencia establecido y que es técnicamente acorde con el diámetro de la broca, burden, espaciamiento, longitud del taladro, condición del terreno (presencia de agua), características de la roca. Del mismo modo se debe entender y tomar en cuenta claramente las propiedades y características de los explosivos y accesorios de voladura.

Producto de la optimización de la perforación y voladura, es la obtención de un incremento en los indicadores de productividad tales como toneladas rotas por disparo TM/disparo, toneladas rotas por taladro TM/taladro, metros avanzados por disparo ML/disparo, factor de carga kg/m<sup>3</sup>, factor de avance kg/ML, toneladas rotas por metro perforado TM/m, eliminación de la posibilidad de la existencia de tiros cortados o soplados, eliminación de bancos o bolones que necesitan ser movidos y corregidos mediante voladura secundaria.

La limpieza se optimiza debido a que solo se requiere mover la cantidad de material establecido en el tiempo adecuado, con la granulometría adecuada, adecuado ambiente de trabajo; el sostenimiento se realiza en una adecuada sección donde no es necesario realizar voladuras secundarias y no se tienen problemas por sobrerotura, del mismo modo al optimizar la perforación el sostenimiento que implique la utilización de los jumbos de perforación incrementan su productividad.

Producto de la Optimización de la limpieza y sostenimiento, es la obtención de un incremento en los indicadores de productividad tales como toneladas limpiadas o movidas por hora TM/h, metros cúbicos limpiados o movidos por hora m<sup>3</sup>/h, pernos Split set sostenidos por hora pernos/h. Del mismo modo a través de mejores procedimientos de trabajo en el sostenimiento con shotcrete se incrementa los metros cuadrados por metros cúbicos de mezcla m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

Toda esta optimización operativa de los parámetros técnicos traen como consecuencia una optimización y reducción de los costos unitarios operativos, como es en perforación y voladura, dólares por tonelada rota \$/TM, dólares por metro

avanzado \$/ML, dólares por kg de explosivo consumido \$/kg, dólares por metro cubico roto \$/m3. En Limpieza se reduce los dólares por metro cubico limpiado \$/m3, y en sostenimiento se reduce los dólares por perno sostenido \$/perno y los dólares por metro cuadrado de área cubierta sostenida \$/m2.

### 9.1.1 Labores de desarrollo

Las mejoras en los estándares operativos en labores de desarrollo y sus respectivos costos unitarios de minado se ven reflejadas en los cuadros 23, 24 y 25.

**Cuadro 23. Ciclo de minado optimizado para labores de desarrollo.**



DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS		
LABOR SECCIÓN	Propuesto FRENTE 3.5X3	Unidades
<b>PERFORACION</b>		
<b>Tipo de roca</b>	I - II	
Longitud de barra	4.27	m
Longitud efectiva de perforación	3.66	m
Rendimiento objetivo en avance	90.00	%
<b>Avance</b>	<b>3.29</b>	<b>m</b>
Volumen a romper por disparo	34.55	m <sup>3</sup> /disparo
Tonelaje obtenido por disparo	93.27	t/disparo
<b>Parámetros de perforación</b>		
Diametro de la broca	45.00	mm
Espaciamiento	0.50	m
Burden	0.50	m
Numero de taladros	32.0	taladros
<b>Rendimiento</b>		
Rendimiento de perforación	70.00	mp/h
Numero de taladros	19.14	taladros/h
Tiempo efectivo de perforación	1.69	h
Tiempo de maniobras por taladro	0.27	h
Tiempo de posicionamiento (llegada y salida)	0.33	h
Tiempo total de perforación	2.30	h
Toneladas rotas por taladro	2.91	t/taladro
<b>VOLADURA</b>		
Emulnor 5000 11/8x"16	9.52	Kg
Emulnor 3000 11/8x"16	42.86	Kg
Kilogramos de explosivo objetivo por disparo	52.38	kg
Factor de Potencia	0.56	kg/t
Factor de carga	1.52	kg/m <sup>3</sup>
Tiempo de cebado y carguío por taladro	1.00	min
Tiempo total de carguío	0.54	h

<b>LIMPIEZA Y ACARREO</b>		
Capacidad de Scoop (yd3)	3.50	yd3
Capacidad de Scoop (m3)	2.68	m3
Factor de llenado	0.85	
Capacidad real del Scoop m3	2.27	
<b>Factor de esponjamiento</b>	<b>0.48</b>	
Distancia al ore pass	0.15	km
<b>m3 volados</b>	<b>34.55</b>	<b>m</b>
<b>m3 esponjados</b>	<b>51.13</b>	
Pendiente (%)	12.00	%
Velocidad promedio del scoop	5.00	
<b>Ciclo</b>	<b>0.09</b>	<b>h</b>
Traslado con carga	0.03	h
traslado sin carga	0.03	h
Maniobra totals	0.03	h
<b>Ciclo en minutos</b>	<b>5.60</b>	<b>min</b>
Número de ciclos	22.48	
Tiempo total de limpieza (h)	2.10	
<b>Rendimiento del scoop (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>24.37</b>	
<b>SOSTENIMIENTO</b>		
<b>Pernos Split Set/ helicoidal</b>		
Tipo de roca	B	
Area a sostener	13.17	m2
Espaciamiento pernos	1.50	m
<b>pernos</b>	<b>6.00</b>	<b>perno/frente</b>
Longitud del taladro	2.13	m
Tiempo de perforación por taladro	0.03	h
Tiempo de perforación	0.18	h
Tiempo de instalaciónpor taladro	0.08	h
Tiempo de instalación	0.45	h
Tiempo de empernado por frente	0.63	h
Grado de ocurrencia	0.50	
Tiempo de empernado con grado de ocurrencia	0.32	h
<b>Rendimiento</b>	<b>10</b>	<b>perno/h</b>
<b>SOSTENIMIENTO</b>		
<b>Shotcrete</b>		
Tipo se shotcrete (seca/humeda)	seca	
Bolsas de cemento por m3 de mezcla	8.00	bolsas
Aditivo por m3	2.50	gl
Fibra metálica	25.00	kg
Volumen de mezcla para cubrir	0.84	m3
Desperdicio de material por rebote	40.00	%
<b>Área cubierta m2 por m3 de mezcla</b>	<b>11.30</b>	<b>m2/m3</b>
<b>Rendimiento</b>	<b>1.67</b>	<b>m3/h</b>
Tiempo de shotcrete	1.00	h
Grado de ocurrencia	0.30	%
Tiempo de shotcrete con grado de ocurrencia	0.30	h
<b>Actividades conexas</b>		
Ventilación	0.50	h
Regado y desatado	0.50	h

**Cuadro 24. Comparativo de los principales rendimientos en las operaciones unitarias (Presupuestado- Real- Propuesto optimizado) en labores de desarrollo.**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS PROGRAMADAS				
LABOR SECCIÓN	Presupuestado FRENTE 3.5X3	Real FRENTE 3.5X3	Propuesto FRENTE 3.5X3	Unidades
<b>PERFORACION</b>				
Avance	2.21	3.04	3.29	m
Espaciamiento	0.60	0.43	0.50	m
Burden	0.50	0.40	0.50	m
Numero de taladros	28.00	34.00	32	taladros
Rendimiento de perforación	50.00	68.32	70.00	mp/h
Numero de taladros	19.23	20.91	19.14	taladros/h
<b>VOLADURA</b>				
Kilogramos de explosivo objetivo por disparo	53.66	59.00	52.38	kg
Factor de Potencia	0.87	0.68	0.56	kg/t
Factor de carga	2.35	1.85	1.52	kg/m3
<b>LIMPIEZA Y ACARREO</b>				
Factor de esponjamiento	0.40	0.48	0.48	
Distancia al ore pass	0.15	0.22	0.15	km
m3 volados	22.85	31.97	34.55	m <sup>3</sup>
m3 esponjados	31.99	47.31	51.13	m <sup>3</sup>
Pendiente	12.00	12.00	12.00	%
Ciclo en minutos	6.50	6.28	5.60	min
Rendimiento del scoop	20.99	21.73	24.37	m <sup>3</sup> /h
<b>SOSTENIMIENTO</b>				
<b>Pernos Split Set/ helicoidal</b>				
pernos	5.00	5.00	5.00	perno/frente
Rendimiento	17	21	22	perno/h
<b>SOSTENIMIENTO</b>				
<b>Shotcrete</b>				
Área cubierta m2 por m3 de mezcla	9.84	11.25	13.30	m2/m3
Rendimiento	1.00	1.67	1.67	m3/h
<b>Actividades conexas</b>				
Ventilación	0.500	0.50	0.50	h
Regado y desatado	0.500	0.50	0.50	h

En lo que respecta al costo del ciclo de minado propuesto está por debajo del programado y el real, lo cual se debe al aumento en el rendimiento, así como a un mejor control de los insumos y materiales para evitar la merma.

En el cuadro 25 se puede observar el costo unitario de cada una de las operaciones unitarias presupuestadas, reales y propuestas optimizadas.

**Cuadro 25. Comparativo del Costo unitario de las operaciones unitarias presupuestadas, reales y propuestas optimizadas en labores de desarrollo.**

	PRESUPUESTADO	REAL	PROPUESTO
<b>FRENTE 3.5x3M</b>	<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
	<b>(US\$/ML)</b>	<b>(US\$/ML)</b>	<b>(US\$/ML)</b>
<b>PERFORACION</b>	<b>188.12</b>	<b>144.74</b>	<b>134.11</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>30.54</b>	<b>27.59</b>	<b>22.78</b>
<b>TRABAJADORES</b>	<b>30.54</b>	<b>27.59</b>	<b>22.78</b>
Operador Jumbo	12.22	8.87	7.29
Ayudante Operador Jumbo	10.86	7.88	6.38
Capataz	7.47	10.84	9.11
<b>INSUMOS</b>	<b>25.35</b>	<b>21.16</b>	<b>22.55</b>
<b>ACEROS DE PERFORACIÓN</b>	<b>6.74</b>	<b>7.66</b>	<b>10.06</b>
Barra de extensión 14 pies	3.27	3.19	5.14
Broca de 45 mm	0.85	0.83	1.19
Shank adapter	0.91	0.89	0.99
Coopling	0.65	0.64	0.62
Broca escareadora de 3.5	0.09	0.07	0.09
Adapter Piloto	0.05	0.04	0.04
Aguzadora de copas	0.90	2.00	2.00
<b>MATERIALES</b>	<b>18.60</b>	<b>13.51</b>	<b>12.49</b>
Mangas de ventilacion de 30"	5.36	3.89	3.60
Alcayatas de 03 Cuerpos	6.46	4.69	4.33
Tubos de pvc 1 1/2 X3 mts	6.79	4.93	4.56
<b>EQUIPOS</b>	<b>132.23</b>	<b>95.99</b>	<b>88.77</b>
Jumbo (1 brazos)	105.08	76.28	70.55
Ventilador (60Hp)	27.15	19.71	18.23
<b>FRENTE 3.5x3M</b>	<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
	<b>(US\$/M3)</b>	<b>(US\$/M3)</b>	<b>(US\$/ML)</b>
<b>VOLADURA</b>	<b>9.27</b>	<b>7.15</b>	<b>6.23</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>3.54</b>	<b>2.53</b>	<b>2.34</b>
<b>TRABAJADORES</b>	<b>3.54</b>	<b>2.53</b>	<b>2.34</b>
Cargador - Desatador	2.10	1.50	1.39
Capataz	1.44	1.03	0.96
<b>INSUMOS</b>	<b>5.73</b>	<b>4.62</b>	<b>3.89</b>
<b>EXPLOSIVOS</b>	<b>5.73</b>	<b>4.62</b>	<b>3.89</b>
Emulnor 3000 1x"16	4.06	3.19	2.62
Fanel	1.53	1.33	1.17
Cordon detonante 3P	0.09	0.06	0.06
Mecha de seguridad	0.03	0.02	0.02
Fulminante	0.01	0.01	0.01
Conectores	0.01	0.01	0.01
Mecha Rápida	0.00	0.00	0.00

DESCRIPCIÓN	TOTAL (US\$/M3)	TOTAL (US\$/M3)	TOTAL (US\$/ML)
<b>LIMPIEZA-ACARREO</b>	<b>3.87</b>	<b>3.37</b>	<b>3.03</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>1.02</b>	<b>0.61</b>	<b>0.57</b>
<b>TRABAJADORES</b>		<b>0.61</b>	
Operador Scoop	0.84	0.51	0.47
Capataz	0.17	0.11	0.10
<b>EQUIPOS</b>	<b>2.86</b>	<b>2.76</b>	<b>2.46</b>
Scoop (3.5yd3)	2.86	2.76	2.46

DESCRIPCION	TOTAL (USD/perno)	TOTAL	TOTAL
<b>SOSTENIMIENTO CON SPLITSET</b>	<b>12.49</b>	<b>10.56</b>	<b>10.08</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>0.77</b>	<b>0.46</b>	<b>0.43</b>
Operador de Jumbo	0.26	0.21	0.20
Ayudante de Jumbo	0.47	0.19	0.18
Capataz	0.03	0.05	0.05
<b>MATERIALES</b>	<b>7.21</b>	<b>6.45</b>	<b>6.16</b>
Barras de perforación (mt) 8 PIE	0.15	0.15	0.14
Brocas (mt) 35 MM	0.07	0.07	0.07
Shank adapter (mt)	0.06	0.06	0.06
Coopling (mt)	0.04	0.04	0.04
Perno Splits Set	6.00	5.27	5.03
Adaptador Perno	0.77	0.77	0.74
Mang de 1 pulg	0.12	0.09	0.09
<b>EQUIPOS</b>	<b>4.52</b>	<b>3.65</b>	<b>3.48</b>
Jumbo (1brazo)	4.52	3.65	3.48

DESCRIPCION	TOTAL USD/m2	TOTAL USD/m2	TOTAL
<b>SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE</b>	<b>27.6</b>	<b>27.1</b>	<b>26.3</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>5.30</b>	<b>4.77</b>	<b>3.975</b>
Capataz	1.10	0.99	0.825
Operador	0.90	0.81	0.675
Lanzador	0.90	0.81	0.675
Ayudante	2.40	2.16	1.800
<b>MATERIALES</b>	<b>14.47</b>	<b>14.47</b>	<b>14.469</b>
Cemento	5.00	5.00	5.000
Arena 1/2	0.28	0.28	0.284
Acelerante	5.19	5.19	5.185
Fibra de acero	4.00	4.00	4.000
<b>EQUIPOS</b>	<b>7.80</b>	<b>7.85</b>	<b>7.850</b>
Shotcretera	2.60	2.60	2.600
Scoop	5.20	5.25	5.250

### 9.1.2 Labores de Producción

Las mejoras en los estándares operativos en labores de producción - tajos y sus respectivos costos unitarios de minado se ven reflejadas en los cuadros 26, 27 y 28.

**Cuadro 26. Ciclo de minado optimizado propuesto para labores de producción**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS		
LABOR	Propuesto BREASTING	Unidades
<b>PERFORACIÓN</b>		
<b>Especificaciones</b>		
Longitud de barra	3.60	m
Longitud efectiva de perforacion	3.00	m
Rendimiento objetivo en avance	95.00	%
Avance	2.85	m
Volumen a romper por disparo	29.93	m <sup>3</sup> /disparo
Tonelaje obtenido por disparo	86.78	t/disparo
<b>Parametros de perforación</b>	0.9144	
Diametro de la broca	45.00	mm
Espaciamiento	0.70	m
Burden	0.90	m
Numero de taladros	20.00	taladros
<b>Rendimiento</b>		
Rendimiento de perforación	60.00	mp/h
Numero de taladros	20.00	taladros/h
Tiempo efectivo de perforación	1.00	h
Tiempo de maniobras por taladro	0.17	h
Tiempo de posicionamiento (llegada y salida)	0.33	h
Tiempo total de perforación	1.50	h
Toneladas rotas por taladro	4.34	t/taladro
<b>VOLADURA</b>		
Emulnor 5000 11/8x"16	0.00	Kg
Emulnor 3000 11/8x"16	29.10	Kg
Kilogramos de explosivo objetivo por disparo	29.10	kg
Factor de Potencia	0.34	kg/t
Factor de carga	0.97	kg/m <sup>3</sup>
Tiempo de cebado y carguío por taladro	1.00	min
Tiempo total de carguío	0.33	h
<b>LIMPIEZA Y ACARREO</b>		
Capacidad de Scoop (yd <sup>3</sup> )	3.50	yd <sup>3</sup>
Capacidad de Scoop (m <sup>3</sup> )	2.68	t/cuchara
Factor de llenado	0.85	
Capacidad real del Scoop m <sup>3</sup>	2.27	m <sup>3</sup>
Factor de esponjamiento	0.48	%
Distancia al ore pass	0.15	Km
m <sup>3</sup> volados	29.93	m <sup>3</sup>
m <sup>3</sup> esponjados	44.29	m <sup>3</sup>
Pendiente	12.00	%
Velocidad promedio del scoop	5.00	Km/h
<b>Ciclo</b>	0.09	<b>h</b>
Traslado con carga	0.03	h
traslado sin carga	0.03	h
Maniobra totales	0.03	h
<b>Ciclo en minutos</b>	5.60	<b>min</b>
Número de ciclos	19.48	
Tiempo total de limpieza	1.82	h
Rendimiento del scoop	24.37	m <sup>3</sup> /h

**Cuadro 27. Comparativo de los principales rendimientos en las operaciones unitarias (Presupuestado- Real- Propuesto) en labores de producción**

DISEÑO DE OPERACIONES UNITARIAS				
LABOR	Presupuestado	Real	Propuesto	Unidad
<b>PERFORACIÓN</b>				
Avance	2.88	3.41	3.55	m
Volumen a romper por disparo	24.30	28.80	29.93	m <sup>3</sup> /disparo
Tiempo total de perforación	1.42	1.62	1.50	h
<b>VOLADURA</b>				
Kilogramos de explosivo objetivo por disparo	24.89	37.15	29.10	kg
Factor de Potencia	0.32	0.48	0.34	kg/t
Factor de carga	1.02	1.29	0.97	kg/m <sup>3</sup>
<b>LIMPIEZA Y ACARREO</b>				
Factor de esponjamiento	0.40	0.48	0.48	%
m <sup>3</sup> volados	24.30	28.80	29.93	m <sup>3</sup>
m <sup>3</sup> esponjados	34.02	42.63	44.29	m <sup>3</sup>
<b>Ciclo en minutos</b>	7.83	5.32	5.60	min
Rendimiento del scoop	17.42	23.10	24.37	m <sup>3</sup> /h
<b>SOSTENIMIENTO</b>				
<b>Pernos Split Set</b>				
pernos /frente	5.00	5.00	5.00	per/frente
Tiempo de empernado por frente	0.29	0.29	0.26	h
Rendimiento	17	17	19	perno/h
<b>SOSTENIMIENTO</b>				
<b>Shotcrete</b>				
Area cubierta m <sup>2</sup> por m <sup>3</sup> de mezcla	1.00		1.00	m <sup>3</sup> /h
<b>Actividades conexas</b>				
Ventilación	0.50	0.50	0.50	h
Regado y desatado	0.50	0.50	0.50	h
<b>Tiempo total por ciclo</b>	<b>5.13</b>	<b>5.28</b>	<b>5.12</b>	

En lo que respecta al costo del ciclo de minado propuesto en labores de producción – tajos está por debajo del programado y el real, lo cual se debe al aumento en el rendimiento, así como a un mejor control de los insumos y materiales para evitar la merma.

En el cuadro 28 se puede observar el costo unitario de cada una de las operaciones unitarias presupuestadas, reales y propuestas.

**Cuadro 28. Comparativo del Costo unitario de las operaciones unitarias presupuestadas, reales y propuestas en labores de producción.**

BREASTING	PRESUPUESTADO	REAL	PROPUESTO
	TOTAL (US\$/ML)	TOTAL (US\$/ML)	TOTAL (US\$/ML)
<b>PERFORACION</b>	<b>149.59</b>	<b>154.34</b>	<b>147.75</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>30.54</b>	<b>27.59</b>	<b>25.52</b>
<b>TRABAJADORES</b>	<b>30.54</b>	<b>27.59</b>	<b>25.52</b>
Operador Jumbo	12.22	8.87	8.20
Ayudante Operador Jumbo	10.86	7.88	7.29
Capataz	7.47	10.84	10.02
<b>INSUMOS</b>	<b>17.58</b>	<b>20.22</b>	<b>19.69</b>
<b>ACEROS DE PERFORACIÓN</b>	<b>3.30</b>	<b>5.23</b>	<b>5.26</b>
Barra de extensión 14 pies	1.44	1.79	1.81
Broca de 45 mm	0.37	0.47	0.47
Shank adapter	0.40	0.50	0.50
Coopling	0.29	0.36	0.36
Broca escareadora de 3.5	0.07	0.07	0.07
Adapter Piloto	0.04	0.04	0.04
Aguzadora de copas	0.69	2.00	2.00
<b>MATERIALES</b>	<b>14.28</b>	<b>14.99</b>	<b>14.43</b>
Mangas de ventilacion de 30"	4.11	4.32	4.16
Alcayatas de 03 Cuerpos	4.95	5.20	5.01
Tubos de pvc 11/2 X3 mts	5.21	5.47	5.26
<b>EQUIPOS</b>	<b>101.47</b>	<b>106.53</b>	<b>102.54</b>
Jumbo (1 brazos)	80.64	84.66	81.48
Ventilador (60Hp)	20.83	21.87	21.05
<b>BREASTING</b>	<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
	<b>(US\$/M3)</b>	<b>(US\$/M3)</b>	<b>(US\$/M3)</b>
<b>VOLADURA</b>	<b>6.00</b>	<b>5.97</b>	<b>5.33</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>3.33</b>	<b>2.81</b>	<b>2.71</b>
<b>TRABAJADORES</b>	<b>3.33</b>	<b>2.81</b>	<b>2.71</b>
Cargador - Desatador	1.98	1.67	1.60
Capataz	1.36	1.15	1.10
<b>INSUMOS</b>	<b>2.67</b>	<b>3.16</b>	<b>2.62</b>
<b>EXPLOSIVOS</b>	<b>2.67</b>	<b>3.16</b>	<b>2.62</b>
Emulnor 3000 1x"16	1.77	2.23	1.68
Fanel	0.77	0.82	0.84
Cordon detonante 3P	0.08	0.07	0.07
Mecha de seguridad	0.02	0.02	0.02
Fulminante	0.01	0.01	0.01
Conectores	0.01	0.01	0.01
Mecha Rápida	0.00	0.00	0.00

BREASTING	TOTAL (US\$/M3)	TOTAL (US\$/M3)	TOTAL (US\$/M3)
<b>LIMPIEZA-ACARREO</b>	<b>4.40</b>	<b>3.36</b>	<b>3.20</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>0.96</b>	<b>0.76</b>	<b>0.73</b>
<b>TRABAJADORES</b>		<b>0.76</b>	
Operador Scoop	0.79	0.63	0.61
Capataz	0.16	0.13	0.12
<b>EQUIPOS</b>	<b>3.44</b>	<b>2.60</b>	<b>2.46</b>
Scoop (3.5yd3)	3.44	2.60	2.46

DESCRIPCION	TOTAL (USD/perno)	TOTAL (USD/perno)	TOTAL (USD/perno)
<b>SOSTENIMIENTO CON SPLITSET</b>	<b>12.49</b>	<b>13.85</b>	<b>11.50</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>0.77</b>	<b>0.56</b>	<b>0.50</b>
Operador de Jumbo	0.26	0.26	0.23
Ayudante de Jumbo	0.47	0.23	0.21
Capataz	0.03	0.06	0.06
<b>MATERIALES</b>	<b>7.21</b>	<b>8.81</b>	<b>7.06</b>
Barras de perforación (mt) 8 PIE	0.15	0.19	0.07
Brocas (mt) 35 MM	0.07	0.09	0.04
Shank adapter (mt)	0.06	0.07	0.03
Coopling (mt)	0.04	0.05	0.02
Perno Splits Set	6.00	7.36	6.42
Adaptador Perno	0.77	0.94	0.38
Mang de 1 pulg	0.12	0.12	0.10
<b>EQUIPOS</b>	<b>4.52</b>	<b>4.48</b>	<b>3.98</b>
Jumbo (1brazo)	4.52	4.48	3.98

DESCRIPCION	TOTAL USD/m2	TOTAL USD/m2	TOTAL USD/m2
<b>SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE</b>	<b>27.6</b>	<b>27.6</b>	<b>26.070</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>5.300</b>	<b>5.300</b>	<b>4.700</b>
Capataz	1.100	1.100	1.000
Operador	0.900	0.900	0.800
Lanzador	0.900	0.900	0.800
Ayudante	2.400	2.400	2.100
<b>MATERIALES</b>	<b>14.469</b>	<b>14.469</b>	<b>13.520</b>
Cemento	5.000	5.000	5.057
Arena 1/2	0.284	0.284	1.753
Acelerante	5.185	5.185	2.210
Fibra de acero	4.000	4.000	4.500
<b>EQUIPOS</b>	<b>7.800</b>	<b>7.800</b>	<b>7.850</b>
Shotcretera	2.600	2.600	2.600
Scoop	5.200	5.200	5.250

## 9.2 Comparación de los costos unitarios optimizados con los no optimizados

Los márgenes de reducción del costo unitario de cada una de las operaciones unitarias de minado se pueden apreciar en el cuadro 29.

**Cuadro 29. Comparación de los costos unitarios reales antes de la optimización con los costos unitarios optimizados.**

COSTOS UNITARIOS DE LAS OPERACIONES EN TAJOS					
	COSTO REAL	COSTO OPTIMIZADO	Δ COSTO	UNIDAD	Δ PORCENTUAL %
PERFORACION	154.34	147.75	-6.59	US\$/ML	-4.27
VOLADURA	5.97	5.33	-0.64	US\$/M <sup>3</sup>	-10.72
LIMPIEZA-ACARREO	3.36	3.2	-0.16	US\$/M <sup>3</sup>	-4.76
SOSTENIMIENTO SPLIT SET	13.85	11.5	-2.35	US\$/perno	-16.97
SOSTENIMIENTO SHOTCRETE	27.6	26.07	-1.53	US\$/M <sup>2</sup>	-5.54

COSTOS UNITARIOS DE LAS OPERACIONES EN LABORES DE DESARROLLO					
	COSTO REAL	COSTO OPTIMIZADO	Δ COSTO	UNIDAD	Δ PORCENTUAL %
PERFORACION	144.74	134.11	-10.63	US\$/t	-7.34
VOLADURA	7.15	6.23	-0.92	US\$/M <sup>3</sup>	-12.87
LIMPIEZA-ACARREO	3.37	3.03	-0.34	US\$/M <sup>3</sup>	-10.09
SOSTENIMIENTO SPLIT SET	10.56	10.08	-0.48	US\$/perno	-4.55
SOSTENIMIENTO SHOTCRETE	27.1	26.3	-0.8	US\$/M <sup>2</sup>	-2.95

Se puede observar la reducción de los costos unitarios de mina logrados por la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura, optimización basada en la obtención de rendimientos superiores a los que se venían obteniendo.

Agrupando los costos de sostenimiento de pernos splitset con sostenimiento con shotcrete como un único costo unitario de sostenimiento y expresando todos los costos unitarios de las operaciones unitarias de minado en \$/TM para una adecuada comparación entre los mismos y conocer su grado de incidencia en el costo total del ciclo de minado. La estructura de costos unitarios que conforman el costo unitario total del ciclo de minado optimizado o costo mina optimizado para labores de producción y de avance se muestra a continuación. A estos costos operativos de perforación, voladura, limpieza-acarreo y sostenimiento, se les agregan los costos de

administración mina, servicios auxiliares con relleno hidráulico, ventilación y transporte.

**Cuadro 30. Calculo del costo unitario de Mina optimizado en labores de producción.**

Procesos Operativos	Costo Unitario \$/TM	Grado de incidencia %
Administrativos Mina	3.74	17.66
Perforación	4.69	22.14
Voladura	1.78	8.39
Limpieza-acarreo	1.07	5.04
Sostenimiento	5.00	23.59
Ventilacion	0.35	1.65
Servicios auxiliares mina-relleno hidraulico	2.46	11.62
Transporte	2.10	9.92
Costo unitario del ciclo de minado	21.18	100

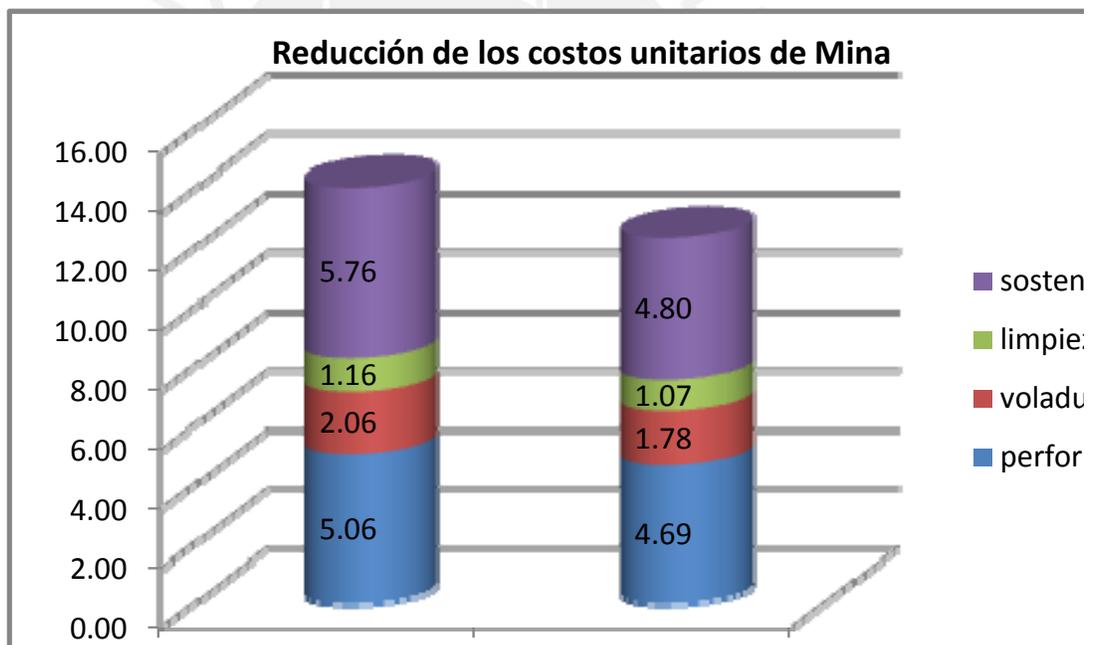
**Cuadro 31. Calculo del costo unitario de Mina optimizado en labores de desarrollo.**

Procesos Operativos	Costo Unitario \$/TM	Grado de incidencia %
Administrativos Mina	3.74	18.44
Perforación	4.26	20.98
Voladura	2.08	10.24
Limpieza-acarreo	1.01	4.98
Sostenimiento	4.29	21.16
Ventilacion	0.35	1.73
Servicios auxiliares mina-relleno hidraulico	2.46	12.13
Transporte	2.10	10.35
Costo unitario del ciclo de minado	20.29	100

Comparando los costos unitarios de minado antes del proceso de optimización con los costos optimizados por mejores estándares de operación, tenemos:

**Cuadro 32. Comparación de los costos unitarios reales antes de la optimización con los costos unitarios optimizados, expresados en \$/TM y su porcentaje de incidencia con respecto a la reducción total de los costos operativos.**

Procesos Productivos de Mina	Costos Reales \$/TM	Costos Optimizados \$/TM	ΔCosto Mina \$/TM	ΔPorcentual del costo Mina %
Administrativos Mina	3.74	3.74	0.00	0.00
Perforación	5.06	4.69	-0.37	-7.32
Voladura	2.06	1.78	-0.28	-13.75
Limpieza-acarreo	1.16	1.07	-0.09	-8.05
Sostenimiento	5.76	5.00	-0.76	-13.19
Ventilacion	0.35	0.35	0.00	0.00
Servicios auxiliares mina-relleno hidraulico	2.46	2.46	0.00	0.00
Transporte	2.10	2.10	0.00	0.00
<b>Costo unitario del ciclo de minado</b>	<b>22.69</b>	<b>21.18</b>	<b>-1.51</b>	<b>-6.64</b>



Al reducir el costo unitario de Mina en 1.51\$/TM, para una mina que entrega a planta concentradora un promedio de 75000TM (toneladas de mineral secas) por mes, se tendrá un ahorro 1 359 000 \$ por año debido a la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de Mina.

La reducción en cada operación unitaria de minado se aprecia en el siguiente cuadro, donde se evidencia que el mayor porcentaje de reducción del costo se da en el sostenimiento (56.47%) con respecto al ahorro total, seguido luego de la perforación (21.76%), voladura (16.47%) y limpieza-acarreo (5.29%). El costo de sostenimiento se reduce debido a que en el sostenimiento con perno split set, el rendimiento de instalación y/o perforación de los taladros para la colocación de pernos splitset se ha incrementado en un 11.76% lo que significa que el costo por uso del equipo jumbo empernador ha disminuido en un 12%. Así mismo en el sostenimiento con shotcrete el rendimiento de metros cuadrados cubiertos por metro cubico de mezcla se ha incrementado en un 18.8% y el desperdicio de materiales producto del rebote por la practica operativa ha disminuido en un 17% que significa que el costo de lanzado de shotcrete disminuye en un 6%.

En la Perforación y voladura la reducción de sus costos obedece principalmente a que el tonelaje obtenido por disparo se ha incrementado en un 10% con respecto a lo que se viene obteniendo, del mismo modo el factor de carga se ha reducido en un 29%.

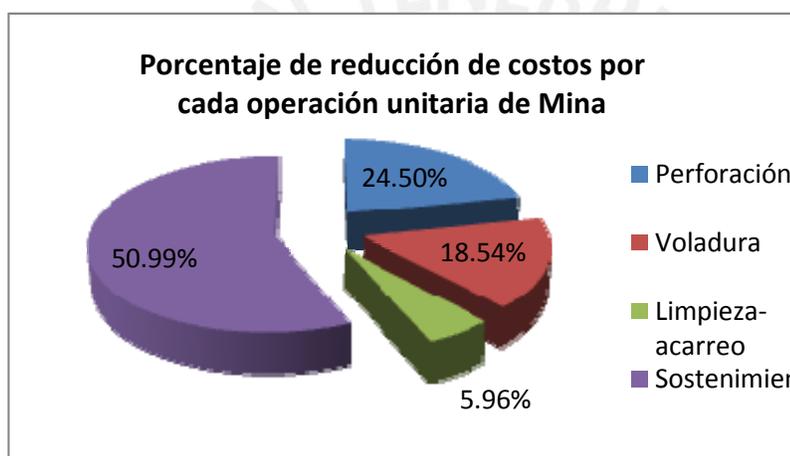
Adicionalmente a la reducción de los costos unitarios de la perforación y voladura, se tendrán montos de ahorros debido a la eliminación de la voladura secundaria (tiros sopladados o cortados productos de una mala voladura) que puede entenderse como el 4% de la producción anual del mineral que tuvo que aplicarse sobrevoladura. Y un monto de ahorro por el incremento de la vida útil de los aceros de perforación (específicamente brocas), cuya vida útil se ha incrementado en un 25%, debido a su adecuado afilamiento y mantenimiento. Los montos de ahorro directos por la eliminación de la voladura secundaria y por el incremento de la vida útil de los aceros de perforación se detallarán en los capítulos 9.4 y 9.5.

Para mantener esta reducción de los costos operativos de mina o continuar con su reducción, se debe continuar con la optimización, modernización y capacitación de las operaciones de perforación y voladura, supervisada bajo un seguimiento y control operativo, que reflejen el cumplimiento de los procedimientos adecuados de trabajo en cada operación unitaria de minado.

La reducción del costo anual por cada operación unitaria de minado se aprecia considerando una Mina que produce 900 000 TM al año.

**Cuadro 33. Reducción del costo por cada operación unitaria de minado expresado en \$/TM, reducción anual \$/año y el porcentaje de incidencia de cada operación unitaria en la reducción total de los costos operativos.**

Procesos Productivos Mina	Margen de ahorro unitario \$/TM	Producción anual TM	Reducción Anual \$	Porcentual %
Perforación	0.37	900000	333000	24.50
Voladura	0.28	900000	252000	18.54
Limpieza-acarreo	0.09	900000	81000	5.96
Sostenimiento	0.77	900000	693000	50.99
<b>Ciclo de Minado</b>	<b>1.51</b>		<b>1359000</b>	<b>100</b>



### 9.3 Reducción del Cash Cost Total

Del mismo modo el Cash Cost Total de toda la compañía minera se reduce al haber reducir el costo unitario de Mina como se detalla en el siguiente cuadro de cálculo del cash total de la unidad minera (cálculo del Cash Cost sin incluir inversiones).

**Cuadro 34. Reducción del Cash Cost Total de la Unidad Minera debido a la reducción del costo de Mina.**

	Costo Unitario (US\$/TMS)			
	Real	Optimizado	Diferencia	Variación %
Mina	22.70	21.18	-2	-6.70
Concentradora	3.77	3.77	0	0.00
Energía	7.80	7.80	0	0.00
Talleres	2.16	2.16	0	0.00
Alquiler Hidroelectrica	1.30	1.30	0	0.00
Servicios Generales	7.00	7.00	0	0.00
Desarrollos	2.15	2.15	0	0.00
<b>Total Unidad Minera</b>	<b>46.88</b>	<b>45.36</b>	<b>-2</b>	<b>-3.24</b>

Es importante resaltar que el costo por Servicios Generales incluye el costo por Gerencia de Operaciones (costo referido al gerente de operaciones y a la jefatura de Proyectos), costo por Servicios generales propiamente dicho (costo de terceros por el mantenimiento de las carreteras de acceso a la unidad minera, seguridad industrial, comunicaciones y telecomunicaciones como servicios de terceros, programa de proyección social, y distribución de equipos administrativos), costo por Superintendencia de administración (costo referido al superintendente de administración y las áreas de contabilidad, relaciones comunitarias, compras y almacenes e informática, costo por Recursos Humanos (costo por el área de recursos humanos, capacitación, hoteles y campamentos, administración de convenios colectivos y programa de bienestar de personas) y el costo por administración medio ambiente que es esencialmente el costo por el programa de gestión ambiental.

Se puede apreciar que el Cash total de la unidad minera se reduce en un **3.24%** debido a que el costo unitario de Mina se ha reducido en **7%**, representando el costo de Mina aproximadamente el **46.7%** del Cash Cost Total de la Unidad Minera.

Y con respecto al Cash Cost Total de toda la empresa Minera (considerando los costos de la central de Lima por ejemplo) tendremos que el porcentaje de reducción del Cash Cost Total es un **2.8%**.

	Costo Unitario (US\$/TMS)			
	Real	Optimizado	Diferencia	Variación %
<b>Total Unidad Minera</b>	<b>46.88</b>	<b>45.36</b>	<b>-2</b>	<b>-3.24</b>
Gastos Administrativos	3.40	3.40	0	0.00
Seguros	0.85	0.85	0	0.00
Transporte Terrestre	3.10	3.10	0	0.00
Gastos Financieros	0.56	0.56	0	0.00
<b>CASH COST TOTAL</b>	<b>54.8</b>	<b>53.3</b>	<b>-2</b>	<b>-2.8</b>

#### 9.4 Ahorro en el consumo de explosivos

Los Ahorros potenciales en el consumo de Explosivos (sobre todo en los cartuchos de emulsión) se ven reflejados por los programas de avances y desarrollos y en la producción de mineral objetivo. Del mismo modo se tiene un monto de ahorro por la eliminación de la ocurrencia de tiros cortados y sopladados en la voladura, como se podrá apreciar en el cuadro 36.

**Cuadro 36. Ahorro en el consumo de explosivos en labores de desarrollo y de Producción. Y la monto de ahorro por la eliminación de tiros cortados, sopladados y granulometría inadecuada del material.**

Ahorros en labores de Desarrollo		
Especificaciones	Cantidad	Unidad
Metros de avance programados por año	25000	m
Factor de avance	19.41	kg/m
Factor de avance optimizado	15.92	kg/m
<b>Explosivos</b>		
Ahorro de explosivo/metro de avance	3.49	kg/m
Ahorro de explosivo total por año	87173	kg
Costo por kilogramo de explosivo	1.73	\$/kg
<b>Monto del ahorro (USD)</b>	<b>150809.38</b>	<b>\$/año</b>
Ahorros en labores de Producción		
Especificaciones	Cantidad	Unidad
Tonelaje programado por año	900000	TM
Factor de potencia	0.48	kg/TM
Factor de potencia optimizado	0.34	kg/TM
<b>Explosivos</b>		
Ahorro de explosivo/metro de avance	0.14	kg/TM
Ahorro de explosivo total por año	126000	kg
Costo por kilogramo de explosivo	1.73	\$/kg
<b>Monto del ahorro (USD)</b>	<b>217980</b>	<b>\$/año</b>
<b>Monto de ahorro total en consumo de explosivos</b>	<b>368789</b>	<b>\$/año</b>
Ahorros por la eliminación de tiros cortados y sopladados		
Especificaciones	Cantidad	Unidad
Sobrecosto unitario por tiros cortados y sopladados	0.1	\$/TM
Tonelaje Programado por año	900000	TM
<b>Monto del ahorro (USD)</b>	<b>90000</b>	<b>\$</b>

### 9.5 Ahorro en el consumo de brocas como aceros de perforación

Como se explico en el capítulo 8, con el debido afilamiento de las brocas, se logra incrementar su vida útil en un 25%, por tanto si nuestros pies perforados anuales son 5 466 210 pp, entonces con el respectivo afilado de las brocas de botones de 45mm se tiene un ahorro de 510brocas al año, lo cual representa un ahorro 39270 \$ al año por consumo de estos aceros de perforación.



## 10. CONCLUSIONES

- A través de la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de Perforación y voladura, se logro la reducción del Costo unitario total de Mina en 1.51 \$/TM es decir un reducción del 7% en comparación con lo que se venía obteniendo. Representando esto una reducción en costos operativos de Mina de 1 359 000 \$ al año.
- La Reducción total en costos operativos por la optimización de las operaciones unitarias de minado y por los ahorros en la eliminación de la voladura secundaria y el incremento en la vida de los aceros de perforación ascienden a un monto de 1 488 000 \$ al año.
- La mayor reducción de costo operativo se obtuvo en la operación unitaria de sostenimiento 0.96 \$/TM (56% de la reducción total), seguido por la Perforación 0.37 \$/TM (21.76% de la reducción total), Voladura 0.28 \$/TM (16.47% de la reducción total) y la limpieza-acarreo 0.09 \$/TM (5.3% de la reducción total).
- Con la reducción del Costo unitario total de Mina se obtuvo una reducción del 3.1% del cash Cost total de la empresa Minera, ya que el Costo de Mina representa aproximadamente el 40% del Cash total de la empresa Minera.
- En voladura la reducción del costo es 0.28 \$/TM es decir una reducción del costo de 252 000 \$ al año, del mismo modo se evidencia también que el ahorro potencial anual en consumo de explosivos (emulsiones) es de 368 789 \$ al año considerando tanto las labores de desarrollo-avance, y las labores de producción de mineral. Todo esta reducción del costo y ahorro en voladura debido a que se optimizo la eficiencia de los disparos o voladuras, optimizándose el factor de potencia de 0.48kg/TM a 0.34kg/TM en labores de producción y el factor de avance de 19.41kg/m a 15.92kg/m en labores de desarrollo. Del mismo modo la eficiencia en el avance obtenido en los disparos de 3.40m a 3.55m en labores de producción y de 3.04m a 3.3m en labores de desarrollo.
- Se tiene un monto de ahorro total de 368 789 \$ al año por la optimización del factor de potencia y factor de avance en labores de producción y desarrollo respectivamente. A su vez un monto de ahorro de 90 000 \$ al año

por la eliminación del sobre costo de voladura (0.1\$/TM) debido a la ocurrencia de tiros cortados y soplados.

- En perforación la reducción del costo es 0.37 \$/TM es decir una reducción del costo de 333 000 \$ al año, por razones análogas a la voladura en que se optimizo el eficiencia en el avance por disparo en labores de producción y desarrollo.
- Se tiene un ahorro de 25 410 \$ al año por consumo de brocas debido a un adecuado mantenimiento y afilado de estos aceros de perforación, ya que incrementa la vida útil por broca en un 20%.
- En sostenimiento la reducción del costo es 0.96 \$/TM es decir una reducción del costo de 864 000 \$ al año, debiéndose esta reducción principalmente al sostenimiento con perno splitset en que se optimizo el rendimiento de la perforación con jumbo para empernado de 17 pernos/h a 19 pernos/h.
- En limpieza-acarreo la reducción del costo es 0.09 \$/TM es decir una reducción del costo de 81 000 \$ al año, debiéndose a que se optimizo el rendimiento del scoop de 23 m<sup>3</sup>/h a 24.40 m<sup>3</sup>/h en labores de producción y de 21.7 a 24.4m<sup>3</sup>/h en labores de desarrollo. Este aumento del rendimiento se concreto con la realización de vías o caminos con pendientes no mayores a 12% y cámaras de acumulación que permitan distancias de recorrido del scoop no mayores a 200m.
- Los principales factores de éxito para concretar la optimización de los estándares de perforación y voladura y en general del ciclo de minado, son el Seguimiento y control operativo y la Capacitación y creación de conciencia.
- El seguimiento y control operativo de la perforación y voladura debe abarcar el control del diseño de la malla de perforación según el tipo de roca y cumplimiento del mismo, control del modo de perforación (paralelismo en la perforación, perforación de todo el barreno) y de la adecuada demarcación o delineado de la malla de perforación (puntos de perforación al espaciamiento y burden establecidos en la malla de perforación), control y verificación de un adecuada secuencia miento de los retardos (tiempos de retardo en los faneles) con respecto a la cara libre en la malla de voladura. Además el control de la distribución de la carga explosiva en mina permitirá

eliminar el exceso de explosivos y accesorios despachados y asegurar toda devolución de remanente.

- La reducción de los costos operativos de mina es directamente proporcional a la magnitud de producción de la mina (tonelaje de mineral a producir, metros de avance programados en desarrollos o metros cúbicos de roca estéril a desplazar), por ende es proporcional al consumo de explosivos y a la cantidad áreas de perforación.
- La capacitación y creación de conciencia de los trabajos en los temas de optimización de la perforación y voladura debe darse de manera constante, fomentando la comunicación entre todos los niveles de la organización, propiciando ideas novedosas que mejoren los procedimientos de trabajo.
- Realizar pruebas de voladura por lo menos tres veces por mes, de tal forma que permita solucionar problemas que por la rutina de la misma operación son dejados de lado. En tales pruebas hacer un estudio de la granulometría del material obtenido.

## 11. GLOSARIO DE TÉRMINOS MINEROS Y GEOLÓGICOS

- **Estándar:** Es el modelo, patrón o referencia a seguir. En minería se aplica este término a los estándares de gestión de los procesos productivos en las empresas mineras aplicándose por ejemplo en la automatización de los procesos de perforación y voladura, planes mineros y control de flotas de carguío y acarreo.
- **Costos operativos o de producción mina:** Los costos de operación se definen como aquellos generados en forma continua durante el funcionamiento de una operación minera y están directamente ligados a la producción, pudiéndose categorizarse en costos directos e indirectos.
- **Costos directos:** Conocidos como costos variables, son los costos primarios en una operación minera en los procesos productivos de perforación, voladura, carguío y acarreo y actividades auxiliares mina, definiéndose esto en los costos de personal de producción, materiales e insumos, equipos.
- **Costos indirectos:** Conocidos como costos fijos, son gastos que se consideran independiente de la producción. Este tipo de costos puede variar en función del nivel de producción proyectado, pero no directamente con la producción obtenida.
- **Rendimiento:** En un contexto empresarial, el concepto de rendimiento hace referencia al resultado deseado efectivamente obtenido por cada unidad que realiza la actividad, donde el término unidad puede referirse a un individuo, un equipo, un departamento o una sección de una organización.
- **Perforación en breasting:** Perforación horizontal de producción con la cara libre en la parte inferior de la malla de perforación.
- **Velocidad de detonación:** La velocidad de detonación es la característica más importante de un explosivo, mientras más alta sea su velocidad de detonación mayor será su potencia. A la detonación se le entiende como la transformación casi instantánea de la materia sólida que lo compone en gases.

- **Espaciamiento:** Es la distancia entre taladros cargados con explosivos de una misma fila o de una misma área de influencia en una malla de perforación.
- **Burden:** Es la distancia entre un taladro cargado con explosivos a la cara libre de una malla de perforación. El burden depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de la roca y las características del explosivo a emplear.
- **Cara libre o taladro de alivio:** Permite que las ondas de compresión producto de la voladura se reflejen contra ella, originando fuerzas de tensión que permiten producir la fragmentación de la roca.
- **Smooth Blasting:** Es un tipo de voladura de contorno o voladura suave, en el caso de túneles también se le conoce como voladura periférica.
- **Equipos loading- hauling-dumping (LHD):** Son los equipos de carguío, transporte y descarga empleados en minería subterránea y que permiten obtener una alta productividad en las operaciones.
- **Tajo:** Son las labores temporales destinadas a la extracción de mineral.
- **Labores permanentes:** Son aquellas labores mineras que serán de larga duración o duración permanente durante la vida de la mina, y en las que se requieren aplicar el sostenimiento adecuado que garantice un alto factor de seguridad, pues en estas labores se tendrá un tránsito constantemente de personas y equipos y la construcción de diversas instalaciones.
- **Labores temporales:** Son labores que requieren un sostenimiento ocasional y menor que en las labores permanentes, pues estas labores serán rellenadas luego de ser explotadas.
- **Relleno hidráulico:** Tiene con objetivo rellenar los tajos que han sido explotados, y tiene dos funciones básicas, la primera es servir como piso de trabajo para efectuar la perforación, el disparo y el acarreo de mineral, y el segundo es como sostenimiento para que la mina no colapse debido al incremento de áreas abiertas. El relleno hidráulico es por lo general el relave desechado por la concentradora el cual debe cumplir ciertas características de granulometría.

- **Grado de ocurrencia:** Es la probabilidad de que pueda ocurrir un evento en particular, basándose en la frecuencia histórica.
- **Geomecánica:** Se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamientos mecánicos de los materiales rocosos. Básicamente este comportamiento geomecánico depende de los siguientes factores: Resistencia de la roca, grado de fracturación del macizo rocoso y la resistencia de las discontinuidades.
- **Matriz rocosa:** Es el material rocoso exento de discontinuidades o bloques de roca intacta.
- **Discontinuidades:** Son los planos de origen mecánico o sedimentario que separan los bloques de la matriz rocosa.
- **Macizo rocoso:** Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades.
- **Perno Split set:** Es un tipo de perno que trabaja a fricción, consiste en un tuno de acero con una ranura longitudinal, de diámetro algo mayor que la perforación donde se introducirá. Su diámetro disminuye al introducirlo al barreno, generando presiones de fijación por efecto elástico.
- **Shotcrete:** Es hormigón proyectado, se utiliza principalmente para fines de soporte de rocas y suelos, y es considerada una de las tecnologías más adaptables de fortificación en construcción de túneles y minería.
- **Yacimiento: Concentración** u ocurrencia natural de uno o más minerales.
- **Dolomita:** Mineral formado por carbonato de calcio y magnesio.
- **Calcita:** Mineral blanco de carbonato cálcico cristalizado, principal componente de la roca caliza.
- **Diagénesis - Diagenético:** Proceso de formación de una roca a partir de sedimentos sueltos que sufren un proceso de consolidación.
- **Anfo:** Es un agente explosivo de bajo precio cuya composición es 94.3% de Nitrato de Amonio y 5.7% de gas-oil, que equivalen a 3.7litos de este ultimo por cada 50kg de Nitrato de Amonio.

- **Emulsión explosiva:** Son del tipo inversado “agua en aceite”, componiéndose de dos fases líquidas, una continua constituida básicamente por una mezcla de hidrocarburos y otra dispersa constituida por microgotas de una solución acuosa de sales oxidantes, con el nitrato de amonio como principal componente.

## BIBLIOGRAFIA

- MA. Luis Iriarte – Pontificia Universidad Católica del Perú - Sección Ingeniería de Minas – Society for Mining Metallurgy and Exploration SME (2006) “Curso de Finanzas en Minería y Presupuestos”
- MA. Luis Felipe Iriarte Pagina - Blog de– “Estrategia Minera: Retomando el enfoque en costos” - Web: <http://blog.pucp.edu.pe/item/35453>
- Ing. Elmer Vidal Sánchez – Pontificia Universidad Católica del Perú – Sección Ingeniería de Minas (2005) – “Apuntes del curso de Ingeniería de Explosivos”
- Dr. José Antonio Samaniego Alcántara - Pontificia Universidad Católica del Perú – Sección Ingeniería de Minas (2004) “Apuntes del curso de Mecánica de Rocas”
- Ing. Mario del Río Amézaga – Pontificia Universidad Católica del Perú – Sección Ingeniería de Minas (2004) “Apuntes del curso de Minería Subterránea”

- Ing. Mario Cedrón Lassus – Pontificia Universidad Católica del Perú – Sección Ingeniería de Minas (2003) “Apuntes del curso de Perforación y Voladura”
- Carlos Lopez Jimeno (2003) - “Manual de Perforación y Voladura de Rocas”
- Dr. Blanca Silvia Rosas Lizarraga – Ing. Pedro Hugo Guadalupe Gomez – Ing. Tumialan de la Cruz - Pontificia Universidad Católica del Perú - Facultad de Ciencias e Ingeniería – Sección Ingeniería de Minas (2003) “Guía de laboratorio de Geología para Ingenieros”
- Luis González de vallejo (2002) - “ Libro de Ingeniería Geológica”
- William A. Hustrulid (2001) – “Underground Mining Methods *Engineering Fundamentals and International Cases Studies*”
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú - Facultad de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno (1999) “Libro de Explotación Subterránea Métodos y Casos practicos”
- U. Langefors y B. Kihlstrom (1963) – “The Modern Technique of Rock Blasting”
- EXSA - “Manual Practico de Voladura”