

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**



**“REDUCCIÓN DE COSTOS MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN  
DE PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA CASO:  
MINASPAMPA”**

## **INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS**

**ELABORADO POR  
ALBERTO MENDOZA CHAVEZ**

**ASESOR  
MSc. Ing. JOSE ANTONIO CORIMANYA MAURICIO**

**LIMA-PERU**

**2013**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la vida y darme la sabiduría para poder seguir adquiriendo conocimientos para ser un excelente profesional y un ser humano de bien.

A mi Alma Mater, la Universidad nacional de Ingeniería por darme una formación integra en donde los valores inculcados son reflejados en las empresas y sociedad, asimismo agradecer a los catedráticos, autoridades y trabajadores que conforman el equipo de la UNI por el apoyo que recibí durante mi estadía por las aulas universitarias.

A mi familia que con su apoyo logré ser el profesional que soy, a mis compañeros de trabajo y estudio, ya que siempre me brindaron su confianza ya a todas las personas que formaron parte del éxito de mi formación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres que por sus grandes esfuerzos y apoyo hizo de mi un profesional, a mis hermanos Hilda, Fanny, Pedro, a mis sobrinos Jean Pierre, Laleska y a mi enamorada Karen.

## **RESUMEN**

CIA Minaspampa, es una mina de oro de baja ley, con una explotación a tajo abierto donde el tipo de mineralización es de un yacimiento no diseminado, esto quiere decir que la mineralización se presenta en estructuras tipo vetas.

En base a lo anterior en Minaspampa se realizaron pruebas entre los meses de Agosto y Setiembre 2012, las cuales consisten en modificaciones de las mallas de perforación y distribución de cargas explosivas tanto en mineral como en desmonte, logrando reducir los metros de perforación y el factor de potencia, donde los resultados de fragmentación de la roca indicaron un grado de fragmentación similar al caso base.

Con respecto a los resultados técnicos, el análisis de estos nos indica que los rendimientos efectivos de los equipos de carguío se mantienen en los rangos establecidos, se tuvo un incremento en la recuperación metalúrgica del oro. Además el ahorro por concepto de gastos producido por la aplicación de los nuevos diseños aplicados en los 3 meses (Octubre – Diciembre 2012), donde el mayor ahorro es producido por la aplicación de la malla cuadrada.

Como conclusión a todo lo anterior, se puede decir que con los nuevos diseños, se obtuvieron resultados tanto de rendimientos de equipos de carguío y de fragmentación similares al caso base, a un costo 20% menor. Las operaciones mineras unitarias de Perforación y Voladura tienen una influencia predominante en el ciclo total de minado, porque los resultados de estas dependerá la producción y productividad y por ende los costos en US\$/t de las subsiguientes operaciones mineras unitarias.

## **ABSTRACT**

CIA Minaspampa is a gold mine of low grade, with an open pit mining where the type of mineralization is a reservoir not spread, this means that mineralization occurs in veins structures.

Based on the above evidence, in Minaspampa between the months of August and September 2012, some tests were performed; these tests are about changes to the punching mesh and distribution of explosives in both mineral and disassemble, achieving lower meters of drilling and factor power, where the results of rock fragmentation indicated a degree of fragmentation similar to the base case.

Related to the technical results, the analysis of these indicates that actual performance of haulage equipments are maintained in the established ranges also it had an increase in the metal gold recovery and the saving for expenses occurred by the application of new designs applied within 3 months (October-December 2012), where the biggest saving is produced by the application of the square mesh.

In conclusion to the above, it can be said that with the new designs, results were obtained in yields of teams loading and fragmentation similar to the base case were obtained at a cost 20% less. The unit mining operations of drilling and blasting have a predominant influence on the total mining cycle, because the results of these, will depend the production and productivity and therefore the costs in US\$ / t of subsequent mining operations units.

## ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b> .....	<b>15</b>
1.1. UBICACIÓN.....	15
1.2. ACCESOS.....	16
<b>CAPITULO II: GEOLOGÍA</b> .....	<b>18</b>
2.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	18
2.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	12
2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	20
2.4. ESTRATIGRAFÍA.....	22
2.4.1. Formación Chicana.....	22
2.4.2. Formación Chimú.....	23

2.4.3. Depósitos Cuaternarios.....	24
2.4.3.1. Depósitos Coluviales.....	24
2.4.3.2. Depósitos de Deslizamiento .....	24
2.4.4. Deposito de Flujo.....	24
2.4.4.1. Flujo de Detritos.....	24
2.4.4.2. Flujo de Lodos.....	24
2.4.5. Bofedales.....	25
2.5. MINERALIZACIÓN.....	25
2.6. LITOLOGÍA.....	25
2.7. ALTERACIÓN.....	26
2.8. TIPO DE YACIMIENTO.....	27
<b>CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.....</b>	<b>28</b>
3.1. ANTECEDENTES GENERALES.....	28
3.2. ANTECEDENTES DEL SISTEMA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....	29
3.3. ANÁLISIS DE VOLADURAS.....	31

3.4. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN.....	37
3.5. ESTADÍSTICAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....	40
<b>CAPITULO IV: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.....</b>	<b>41</b>
4.1. CAMBIO DE MALLAS DE PERFORACIÓN.....	41
4.1.1. Diseño de Malla.....	43
4.2. CAMBIO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA.....	46
4.2.1. Alternativa de Carga Distribuida para Mineral.....	47
4.2.2. Alternativa de Carga Distribuida para Desmonte.....	49
<b>CAPITULO V: ANÁLISIS DE VOLADURA CON LOS NUEVOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....</b>	<b>50</b>
5.1. ANÁLISIS DE NUEVOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....	51
5.2. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN DE MINERAL.....	54
5.3. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN DE DESMONTE.....	58
5.4. ESTADÍSTICAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....	60

<b>CAPITULO VI: EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICO</b> .....	<b>61</b>
6.1. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICO DE PERFORACIÓN.....	61
6.2. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICO DE EXPLOSIVOS.....	62
6.3. EVALUACIÓN FINAL DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....	63
6.4. DISMINUCIÓN DE LOS COSTOS UNITARIOS US\$/t.....	63
6.5. RENDIMIENTOS DE EQUIPOS DE CARGUÍO.....	64
6.6. EVOLUCIÓN DE LA RECUPERACIÓN METALÚRGICA .....	65
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>69</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>70</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Distancia y tiempo de recorrido hacia el proyecto Minaspampa.....	17
Tabla 3.1. Antecedentes de los Parámetros de de Perforación y Voladura.....	29
Tabla 3.2. Estadísticas de Perforación y Voladura2012.....	40
Tabla 4.1. Comparación de parámetros Geométricos para Mineral y Desmonte....	45
Tabla 4.2. Resultados Aplicando de la Teoría de Cráter de Livingston.....	48
Tabla 5.1. Nuevos Parámetros de Perforación y Voladura.....	51
Tabla 5.2. Estadísticas de Perforación y Voladura con nuevos Parámetros.....	60
Tabla 6.1. Ahorro en Perforación.....	61
Tabla 6.2. Factor de Potencia del 2012.....	62
Tabla 6.3. Ahorro en Explosivos en US\$.....	62
Tabla 6.4. Ahorro Total.....	63

Tabla 6.5. Variación en el Costo Unitario de perforación y Voladura.....	63
Tabla 6.6. Promedio de toneladas movidas por hora.....	64
Tabla 6.7. Recuperación Metalúrgica de Au 2012.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación de la unidad Minaspampa.....	16
Figura 3.1. Foto de una malla triangular Minaspampa.....	30
Figura 3.2. Diseño de malla.....	30
Figura 3.3. Distribución de la Carga Explosiva.....	31
Figura 3.4. Proyecto de Voladura Minaspampa.....	32
Figura 3.5. Foto del Proyecto Volado MI12-194.....	34
Figura 3.6. Proyecto de Voladura Minaspampa.....	35
Figura 3.7. Foto del Proyecto Volado MI12-196.....	36
Figura 3.8. Foto de voladura y minado.....	37
Figura 3.9. Foto representativa de minado.....	38
Figura 3.10. Análisis en software Split.....	38

Figura 3.11. Resultados del análisis de fragmentación.....	39
Figura 4.1. Mineralización Minaspampa.....	42
Figura 4.2. Malla Cuadrada.....	43
Figura 4.3. Malla Triangular vs Malla Cuadrada.....	44
Figura 4.4. Teoría de Cráter de Livingston.....	46
Figura 4.5. Metodología del cálculo de la teoría de Livingston.....	47
Figura 4.6. Alternativa de propuesta en Distribución de cargas para mineral.....	48
Figura 4.7. Alternativa de Distribución de carga para Desmonte.....	49
Figura 5.1. Proyecto en zona de mineral con los nuevos parámetros.....	52
Figura 5.2. Reporte de carguío de taladros en Decks.....	53
Figura 5.3. Foto del Proyecto Volado MI12- 455.....	54
Figura 5.4. Foto de voladura.....	55
Figura 5.5. Foto de minado.....	55
Figura 5.6. Foto representativa de minado.....	56
Figura 5.7. Análisis en Software Split.....	56
Figura 5.8. Resultados del análisis de fragmentación.....	57
Figura 5.9. Foto de Voladura en desmonte.....	58

Figura 5.10. Foto representativa de minado.....	58
Figura 5.11. Análisis en Software Split.....	59
Figura 5.12. Resultados del análisis de fragmentación.....	59
Figura 6.1. Grafica de promedio de rendimiento.....	64

## INTRODUCCIÓN

El tema de lograr en las operaciones de Open Pit de minería de oro de baja ley es una adecuada recuperación del contenido metálico (oro y Plata) lleva a la creación de nuevas tecnologías en la ingeniería de explosivos, técnicas y diseños de carguío, las cuales tengan como objetivo principal la fragmentación adecuada que pide planta.

Una de las etapas más importantes de todo el proceso productivo en una empresa minera, es la Perforación y Voladura, de la cual dependen muchos factores, como la fragmentación adecuada del mineral, dilución del mineral, rendimientos de equipos de carguío y transporte, recuperación de planta, etc., siendo estos los objetivos a corto plazo, mientras que el cuidado y estabilidad del talud final es el principal objetivo a largo plazo.

El área de Perforación y Voladura de CIA Minaspampa, introduce constantemente mejoras y nuevas técnicas enfocadas a mejorar las Voladuras y actividades relacionadas, disminuyendo los costos unitarios directos de Perforación y Voladura así como de las operaciones directamente relacionadas.

El presente estudio, está enmarcado en recopilar, analizar y evaluar las modificaciones propuestas por el área de Perforación y Voladura de CIA Minaspampa, considerando los parámetros presentes en la mina, con el fin de proponer el mejor conjunto de diseños y medidas nuevas, que demuestren su factibilidad tanto operacional, como económica, tratando de implementar de la mejor manera posible los diseños en el terreno.

La operación de perforación, es la primera actividad que se ejecuta en una operación de minado, por consiguiente, se requiere, brindarle la importancia del caso, bajo este aspecto, la optimización de esta operación, es fundamental ya que el servicio de Perforación por metro en CIA Minaspampa es muy alto.

La fragmentación es la más importante y única variable que debe ser tomada en cuenta para evaluar los resultados de una voladura desde el punto de vista técnico – económico.

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1. UBICACIÓN**

El Proyecto minero Minaspampa, se encuentra en el Departamento de la Libertad Provincia de Sánchez Carrión Distrito de Sarín comprende una altitud entre los 3,015 y 4,255 msnm.

El poblado más cercano y representativo es el Caserío de Casgabamba perteneciente al distrito de Sarín ubicado aproximadamente a 0,8 Km de distancia en línea recta del proyecto. Existen otros centros poblados cercanos como Calamaca, Consuso, Comobara, entre otros todos pertenecientes al distrito de Sarin.

El proyecto de exploración Minaspampa se encuentra ubicado dentro de las concesiones mineras Veca XV y Patrick Almendra I

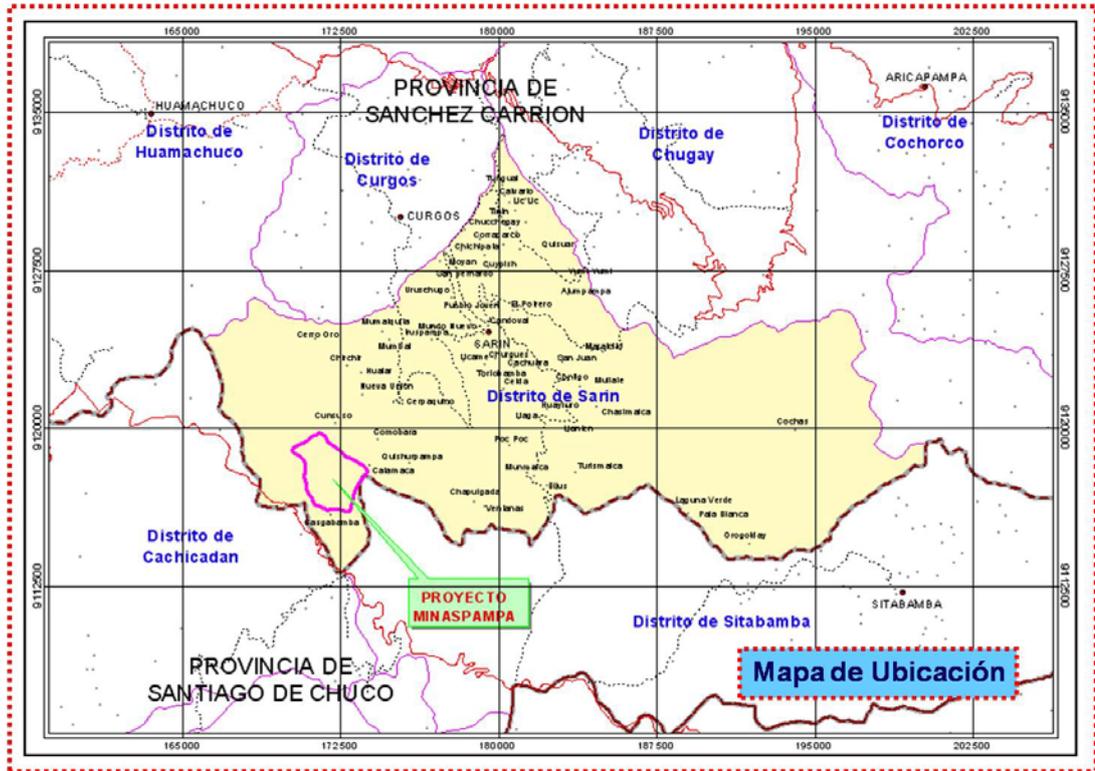


Figura 1.1 - Ubicación de la unidad Minaspampa (DATUM: PSAD 56) [1]

## 1.2. ACCESOS

El acceso a la zona de proyecto desde la ciudad de Lima se realiza por vía terrestre a través de la Carretera Panamericana Norte hasta la ciudad de Trujillo y luego continuando por la ruta de Trujillo – Huamachuco. En la intersección de la carretera asfaltada hacia la Ciudad de Huamachuco y la carretera de acceso al Proyecto “La Arena”, existe un desvío hacia el lado derecho continúa una carretera carrozable por la ruta al distrito de Sarín cuya carretera llega hasta el Proyecto Minaspampa.

Existe otro acceso desde la ciudad Trujillo, por la ruta en dirección a la Compañía Minera San Simón, considerando el desvío contrario del ingreso a la

ciudad de Huamachuco, el cual permite seguir la ruta hacia Sarín. El tramo de la carretera de Trujillo a Cía. Minera San Simón, es afirmada; la continuación del tramo de Minera San Simón hacia el Distrito de Sarín es una trocha carrozable y accidentada en un tramo aproximado de 45 km., hasta llegar a un desvío de 30 - 35 km. antes de hacer la entrada al Proyecto se pueden visualizar 03 lagunas de camino de herradura y accidentada que conduce hasta el proyecto.

Tabla 1.1. Distancia y tiempo de recorrido hacia el proyecto Minaspampa

RUTA	TIPO DE VÍA	KM	TIEMPO DE VIAJE (HRS)	
			PARCIAL	ACUMULADO
Lima – Trujillo	Asfaltada	561	8:00'	-
Trujillo – Same	Afirmada	50	0:45'	8:45'
Same – Agallpampa	Afirmada	34	1:15'	10:00'
Agallpampa – Shorey	Afirmada	41	1:35'	11:35'
Shorey – Desvío a Huamachuco	Afirmada	9	0:30'	11:45'
Desvío a Huamachuco – Minaspampa	Carrozable	42	1:40'	13:25'

Fuente: Área de Geología Mina CIA Minaspampa 2012

## **CAPITULO II**

### **GEOLOGÍA**

#### **2.1. GEOLOGÍA REGIONAL**

El área del proyecto se ubica en el cuadrángulo de Pataz (ingemmet 16-h). Regionalmente la estratigrafía consiste de secuencias sedimentarias – clásticas del jurásico superior y el cretáceo inferior. Regionalmente minaspampa pertenece al tren de mineralización aurífera del metalotécto norte del Perú, en la cual se encuentran minas como lagunas del norte, San Simón, Comarsa, y proyectos como el Toro, La Arena y varias más.

El área del proyecto minaspampa se encuentra ubicada en el sector septentrional de la cordillera occidental de los andes, con coordenadas UTM de un punto central 171,750 E y 9, 118,250 N. su morfología en general agreste, con valles encañonados y escarpas rocosas, es condicionada principalmente por factores estructurales y litológicos.

La estratigrafía regional se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias con edades del jurásico superior al cuaternario reciente, fuertemente plegadas y

falladas, constituidas por las formaciones Chicama, Chimú, Santa – Carhuaz, Farrat, Inca, Chulec y Pariatambo. Esta secuencia es cubierta por depósitos recientes.

El marco estructural está dado por el intenso tectonismo que ha afectado a esta región, evidenciado por la presencia de numerosas fallas kilométricas de orientación andina (NO-SE), y plegamientos normales e invertidos a nivel regional, se aprecia una marcada actividad geodinámica conformada principalmente por movimientos de remoción de masas.

## **2.2. GEOLOGÍA LOCAL**

Geológicamente la mineralización se encuentra emplazada dentro de las areniscas de la formación Chimú de rumbo N30-50W con potencia mayor a 200 m y corresponde al Tren de mineralización aurífera del Metalotecto Septentrional Andino del Norte del Perú, donde se encuentran operando minas como Lagunas Norte, Comarsa, La Virgen, el Toro, Igor, Algamarca.

La mineralización principal se encuentra asociada a afloramientos de brechas hidrotermales que se emplazan en el eje de un anticlinal de falla Normal, rumbo N25- 45W y de alto ángulo; observándose hasta 3 estructuras mineralizadas de diferentes potencias y moderadamente especiadas que convergen desde el Sur Este hasta la parte central generando un importante halo de mineralización con potencia promedio visible de 5 m. y valor de oro hasta de 20 gr/t. tal como se comprueba con las fuertes explotación reciente mente efectuada mediante labores subterráneas.

También existe un segundo sistema de mineralización relacionado a brechas hidrotermales de rumbo N30–50E, de alto ángulo con potencia menor a 20 m observándose presencia de oro de libre íntimamente asociado a Oxido de Fe, destacando principalmente la goethita, limonita, jarosita, y ocasionalmente hematita.

Colaterales a estos dos sistemas se presentan espacialmente delgadas estructuras mineralizadas tipo “stockwork”, incrementando significativamente las posibilidades de mineralización.

Los rasgos principales de la presencia de alteración hidrotermal está relacionada fuertemente al ensamble cuarzo-sericita, ocasionalmente cuarzo alunita. Que se manifiestan tapizando la matriz y fracturas de la roca en forma pulverulenta y granular y a la fuerte silicificación que ocurre en forma masiva generando cuerpos irregulares y en venillas milimétricas de cuarzo lechoso que cruzan la matriz de la roca indicando la proximidad de ocurrencia de mineralización aurífera. La alteración argílica se manifiesta en las intercalaciones de lutitas con areniscas de grano fino y textura fiable.

### **2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Los rasgos estructurales más significativos y evidenciados en el proyecto, están relacionados con la dirección de los esfuerzos compresivos principales de N45E a S45W. Casi perpendicular a estos esfuerzos se localiza la falla Minasampa. Así mismo, los ejes de los pliegues, se alinean también en esta dirección N40W.

Se puede encontrar brechas hidrotermales concordantes con las capas y otras paralelas a la dirección de los esfuerzos, con espesores variables que van desde centímetros hasta más de dos metros, las cuales han aprovechado las fallas y fracturas formadas por los esfuerzos compresivos y un posterior relajamiento de los mismos.

Dentro del anticlinal se ha formado también brechas tectónicas y fallas inversas en paquetes finos y potentes, hasta más de 2m.

El área de estudio forma parte del flanco Este de un gran anticlinal afectado por lineamientos regionales de tendencia andina donde aflora la formación Chimú, cuyo eje pasa por los centros poblados de Casgabamba y Chir Chir. En este flanco se encuentran alineado el proyecto Minas pampa al Sur y corresponden al mismo segmento mineralizado, controlado por fallas de alto ángulo con rumbo promedio Este – Oeste.

Los trabajos de campo confirman fuertemente la existencia de dos sistemas principales de mineralización (1°) sistema Norte-Oeste y Sur-Este y (2°) sistema de rumbo Nor-Este y Sur-Oeste y persisten a profundidad incrementando el potencial del recurso mineralizado. El primer sistema probablemente corresponde esfuerzos de comprensión y el segundo sistema a esfuerzos distensión. Estos juegos de estructuras posiblemente constituyen un sistema de Feeders por donde han ascendido las soluciones hidrotermales que han mineralizado el área.

La mineralización se presenta asociada a un sistema de estructuras de Oxido de Fe de rumbo promedio E-W, de alto ángulo donde se expone el contacto de brechas hidrotermales que tienen un comportamiento tipo rosario en forma vertical y también horizontal con potencias de hasta 5.0 m en la parte central, estrangulándose hasta un espesor en centímetros en su parte angosta.

El contacto de la brecha hidrotermal con la roca encajonante ha generado una aureola de alteración y mineralización con valores de oro, cuyo resultado es la presencia de un sistema de venillas tipo stockwork con relleno de Oxido de Fe, además se observa en la matriz de la roca, oquedades cúbicas rellenas con Oxido Fe tipo boxwork, producto de la intensa lixiviación hidrotermal de la pirita, dando la apariencia de Vuggy – Sílice por la abundante ocurrencia de estas cavidades. También se presenta “diques” de brecha hidrotermal con fuerte oxidación pero de menor potencia.

#### **2.4. ESTRATIGRAFÍA**

De acuerdo a la información publicada por INGEMMET, y la inspección de campo, se establece que en el área de estudio afloran unidades estratigráficas variables, cuyas edades van desde el Jurásico Superior hasta el Cretáceo Inferior; las cuales a continuación se presentan su descripción de cada una de las unidades estratigráficas identificadas en la zona:

#### **2.4.1. Formación Chicama (Js-ch)**

Esta unidad consiste de intercalaciones de capas delgadas de areniscas grises, cuarcitas, limonitas negras y lutitas bituminosas y abigarradas, aforando en la parte sur del proyecto y hacia el NW. En la parte superior capas de cuarcitas principalmente. Regionalmente presenta un espesor de 1500m.

Secuencia del Jurásico superior, conformada por lutitas negras altamente fisibles, lutitas arenosa y finalmente horizontes de areniscas grises a oscuras, hacia el tope. Esta unidad constituye el basamento rocoso del pad de lixiviación y botadero de desmontes.

#### **2.4.2. Formación Chimú (Ki-ch)**

Esta formación está constituida por una secuencia de cuarcitas recristalizadas, en bancos medianos y de grano fino a medio, presentando como base una secuencia abigarrada compuesta por lutitas, limonitas y areniscas blancas y macizas. Litológicamente, la formación consiste en una secuencia de Cuarcitas blancas de grano medio, la cual ha sido recristalizada presentando una textura granoblástica. Típico de cuarcitas metamórficas; en la base de la formación presentan capas de lutitas, donde se observan algunos mantos de carbón. Presenta una potencia aproximada de 500m. Presentan estratificación cruzada localmente.

Está conformada por paquetes gruesos de areniscas y cuarcitas blancas a grises de grano fino a grueso con delgados horizontes de lutitas pizarrosas (Cretácico Inferior). Esta secuencia se manifiesta por la presencia de cerros prominentes y alargados.

### **2.4.3. Depósitos Cuaternarios**

Estos depósitos están conformados principalmente por materiales coluviales, derrubios, y flujo de lodos con una distribución y espesor variado.

#### **2.4.3.1. Depósitos Coluviales**

Se distribuyen en general adyacentes a afloramiento rocosos. Consisten generalmente de limo y arena, con grava y bolones.

#### **2.4.3.2. Depósitos de Deslizamientos**

Acumulaciones producto de deslizamientos de suelos y rocas. Se distinguen por su morfología aborregada y escalonada, como las que se aprecian la zona del botadero, de desmontes y pad.

#### **2.4.4. Depósito de Flujo**

##### **2.4.4.1 Flujo de Detritos**

Consisten en general en gravas con arenas y limos, que se han acumulado y rellenado la depresión donde se ubica el pad.

##### **2.4.4.2 Flujo de Lodos**

Consisten en por lo menos 50% de material del tamaño del limo y arcilla. Su principal material de aporte proviene de las lutitas.

#### **2.4.5. Bofedales**

Caracterizados por suelos hidromórficos, principalmente finos, en general con presencia de turba en su superficie. Se distribuye en la zona del pad y botadero proyectado.

### **2.5. MINERALIZACIÓN**

La mineralización básicamente se encuentra emplazada dentro de las Cuarcitas, asociadas a brechas hidrotermales que generan un importante halo de mineralización con potencias variables que fluctúan desde centímetros hasta 5m (como se evidencian en las labores subterráneas).

Se ha evidenciado en los chips de perforación vetillas finas milimétricas de cuarzo blanco, este puede ser con cristales hialinos; algunas con o sin boxwork y

también con o sin óxidos, estos presentan grandes valores anómalos de oro, dando a suponer varios eventos posteriores al plegamientos y que cortan las capas de los estratos del Chimú.

## 2.6. LITOLOGÍA

En el proyecto Minaspampa se pueden evidenciar varios tipos de rocas las cuales varían por el tamaño de grano, sorteo, redondez, color y composición.

Estas rocas son:

**Cuarcita:** Esta roca se sub divide por su tamaño del grano variando desde grano fino, medio y grueso, predominando la de grano medio; también entre ellas varían de color desde gris claro, gris y gris oscuro, siendo estos colores los más frecuentes.

**Lutitas:**

**Lutitas Pizarrosas:** De color beige muy deleznable con abundancia de sericita en su matriz.

**Lutitas Carbonosas:** De color negro debido al contenido bituminoso.

**Areniscas:** Estas también se sub dividen por su tamaño del grano, variando desde fino, medio y grueso; los colores son en su mayoría gris oscuro y negras.

**Limonitas:** De color amarillo en su gran mayoría.

## **2.7. ALTERACIÓN**

Las alteraciones predominantes y más resaltantes según el estudio petrográfico realizado y verificadas en el mapeo del Proyecto Minaspampa son:

A.- Silicificación en las Cuarzitas.

B.- Silicificación intensa, argilización muy débil.

C.- Silicificación intensa, argilización avanzada moderada a intensa.

## **2.8. TIPO DE YACIMIENTO**

El tipo de yacimiento del Tajo Minaspampa es Epitermal de Alta Sulfuración, la mineralización que se presenta esta asociado a vetas hidrotermales y cuerpos de brechas con fuerte oxidación.

## **CAPITULO III**

### **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO**

#### **3.1. ANTECEDENTES GENERALES**

Mina Minaspampa es explotada mediante la utilización del método de tajo abierto (Open Pit), con bancos simples de 6 metros de altura y ángulos de talud variable, dependiendo esto de las distintas características geotecnias de las rocas y de las alturas de las paredes; las rampas principales de acceso son de 18 metros de ancho, con una pendiente máxima de 12%. Con un Ratio de desbroce de 3:1.

El proceso productivo del Área Mina está definido por las siguientes operaciones:

- Perforación y Voladura
- Carguío y Transporte
- Planta de Beneficio

### 3.2. ANTECEDENTES DEL SISTEMA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

La perforación es realizada por la contratista Andean Management, el cual se les paga por metro perforado y cuentan con cuatro perforadoras, 02 perforadoras SCHRAMM T450GT, con diámetro de 5” y 02 perforadoras DM45 Atlas Copco de 5¾”, las que se utilizan para voladuras de Producción, con diseño de mallas triangulares equiláteras.

Se utiliza ANFO como agente explosivo, detonadores pirotécnicos duales con tiempos de 17 ms entre taladros y 600 ms de fondo, los tiempos entre filas utilizados es de 42 ms para voladuras de producción.

Tabla 3.1. Antecedentes de los Parámetros de Perforación y Voladura

TAJO Material Explosivo	Und	Hasta Julio 2012		Agosto -Setiembre 2012	
		MNP MINERAL Anfo	MNP DESMONTE Anfo	MNP MINERAL Anfo	MNP DESMONTE Anfo
Densidad Explosivo	kg/m <sup>3</sup>	0.80	0.80	0.80	0.80
Diámetro	pulg	5.00	5.75	5.00	5.75
Espaciamiento (E)	m	3.00	3.50	3.50	4.00
Burden (B)	m	2.61	3.04	3.04	3.48
Banco	m	6.00	6.00	6.00	6.00
Sobre perforación	m	0.30	0.30	0.30	0.30
Densidad Roca	kg/m <sup>3</sup>	2.54	2.54	2.54	2.54
Área	m <sup>2</sup>	7.83	10.65	10.65	13.91
Volumen	m <sup>3</sup>	46.96	63.91	63.91	83.48
Tonelaje/taladro	t	119.32	162.40	162.40	212.12
Taco	m	2.20	2.20	2.20	2.20
Longitud Carga	m	4.10	4.10	4.10	4.10
Carga/metro	kg	12.0	15.8	12.0	15.8
Carga/taladro	kg	49.06	64.88	49.06	64.88
Factor Potencia	kg/t	0.41	0.40	0.30	0.31

Fuente: Área de Perforación y Voladura CIA Minaspampa 2012.

El diseño de malla de perforación es una malla Triangular equilátera cuyos parámetros son: Espaciamiento (E) 3.0 - 3.5 m, Burden (B) 2.6 - 3.0 m. donde se utiliza la relación de  $B = E/1.15$



Figura 3.1. Foto de una malla triangular Minaspampa

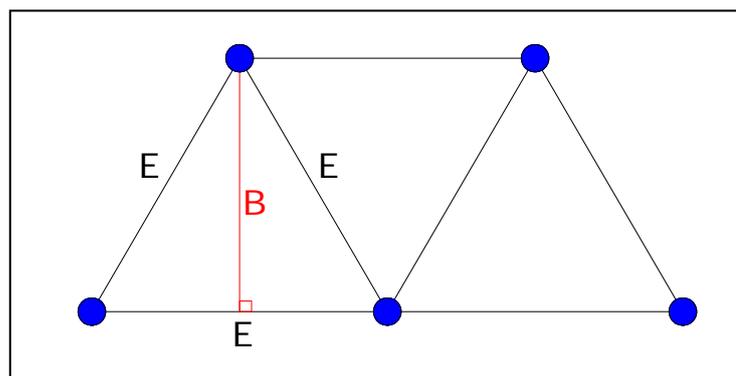


Figura 3.2. Diseño de malla

El diseño de la distribución de carga explosiva para taladros de producción de 6.3 m de longitud promedio, se utiliza carga de fondo de 4.1 m de columna explosiva (ANFO) y un taco promedio de 2.2 m.

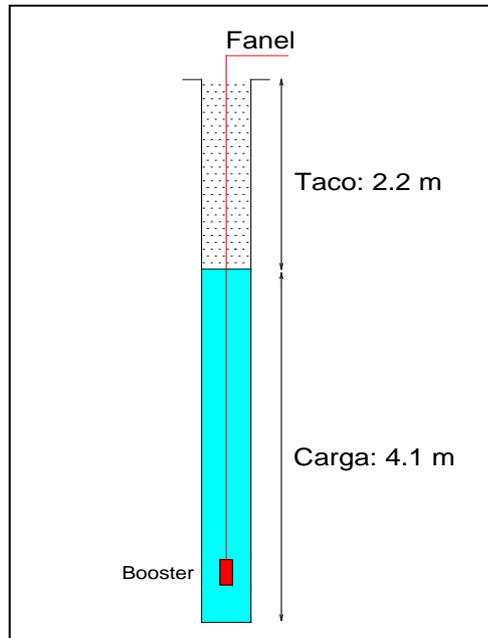


Figura 3.3. Distribución de la Carga Explosiva

### 3.3. ANÁLISIS DE VOLADURAS

Las operaciones mineras unitarias de perforación y voladura, tienen una influencia importante en el ciclo total de minado y el resultado de mayor importancia que debe evaluarse es la fragmentación, porque de esta dependerá la producción, la productividad y los costos de las siguientes operaciones mineras: carguío, acarreo.

En el caso de CIA Minaspampa, las voladuras que se realizan tienen una buena fragmentación con un P80 de 4" lo que requiere planta, el análisis de voladura básicamente se centra en el desplazamiento del material volado provocando la

dilución del mineral debido al alto factor de potencia, a demás de generar un alto esponjamiento.

Otro factor que interviene en el desplazamiento del material volado es la utilización de ANFO, ya que su principal característica es el fracturamiento por desplazamiento debido a la gran cantidad de gases que produce al detonar.

Los Factores de Potencia altos en CIA Minaspampa ocurren básicamente por dos diseños fundamentales: la malla de perforación que presenta espaciamientos muy reducidos y la distribución de carga explosiva con carga corrida.

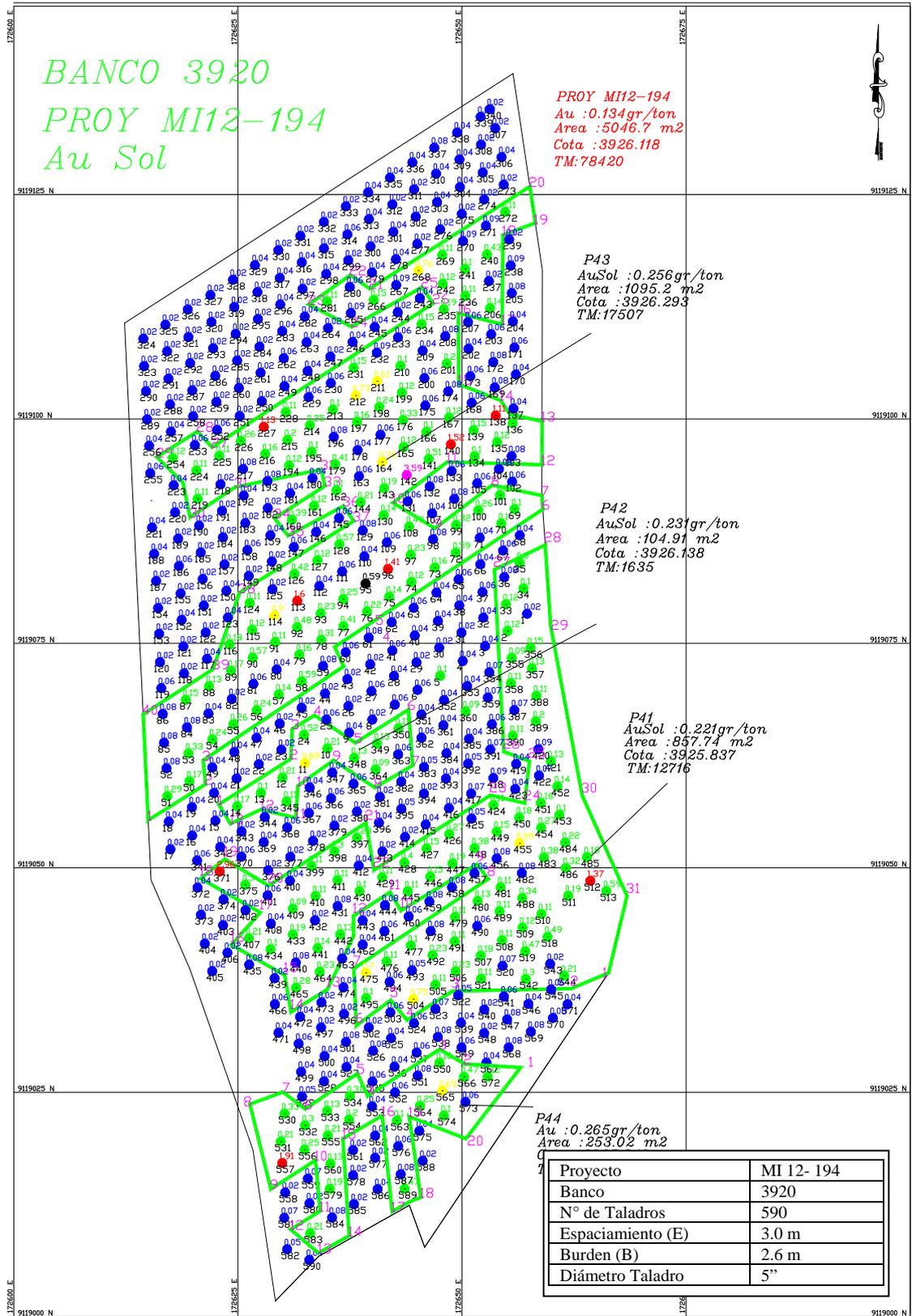


Figura 3.4. Proyecto de Voladura Minasampa [1]



Figura 3.5. Foto del Proyecto Volado MI12 - 194

En la Figura 3.5. Se observa una buena fragmentación y un alto esponjamiento (3.0 m aproximadamente) del material volado, con un factor de potencia (FP) de 0.37 kg/t, este alto FP crea un gran apilamiento del material, ocasionando una alta dilución del mineral debido a la alta cantidad de carga explosiva por taladro.

Todo el material volado se apila en el centro del proyecto, debido al tipo de amarre de la malla que se realizó en rombo o diamante con inicio al centro del proyecto.

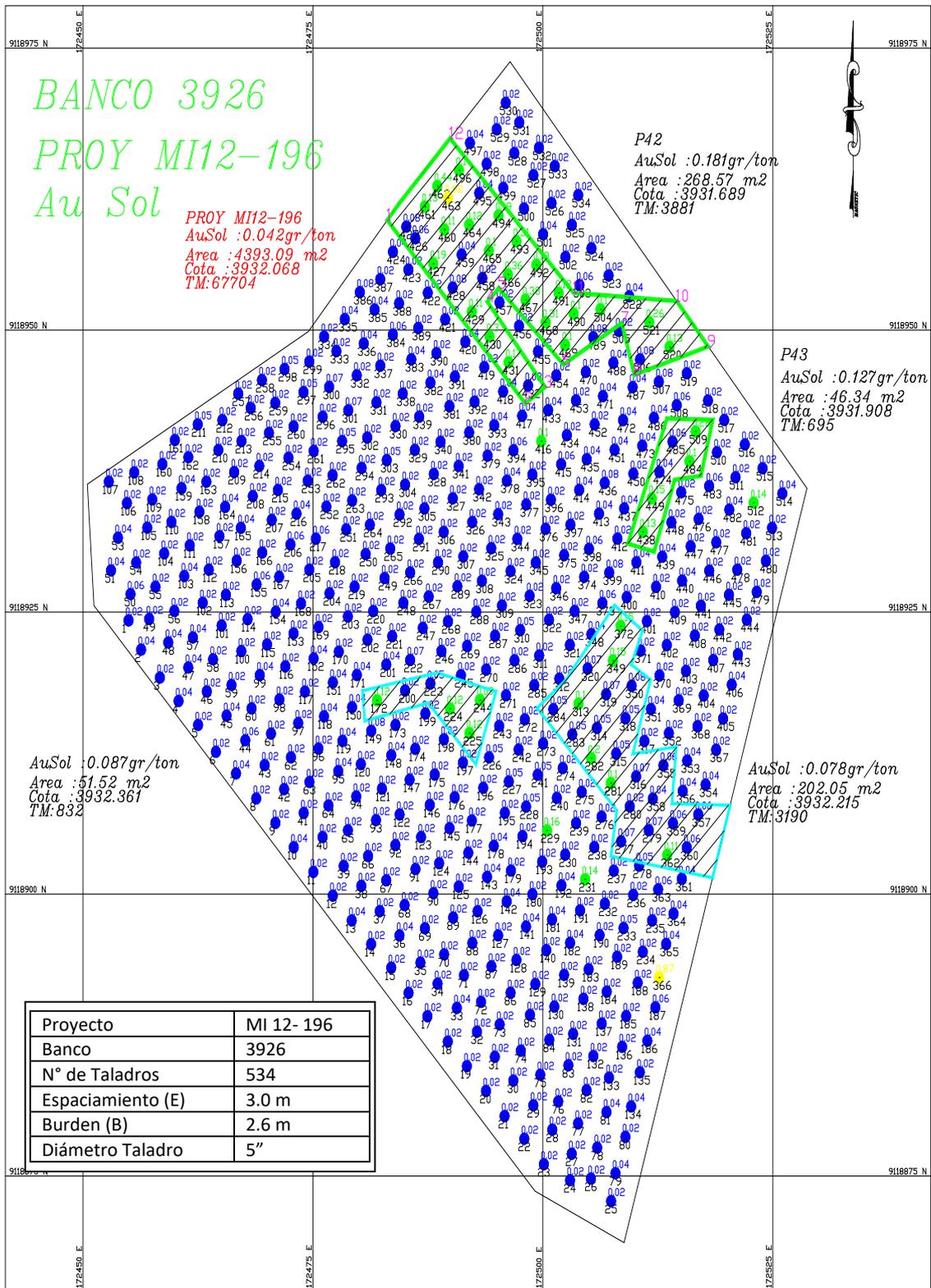


Figura 3.6. Proyecto de Voladura Minasampa [1]

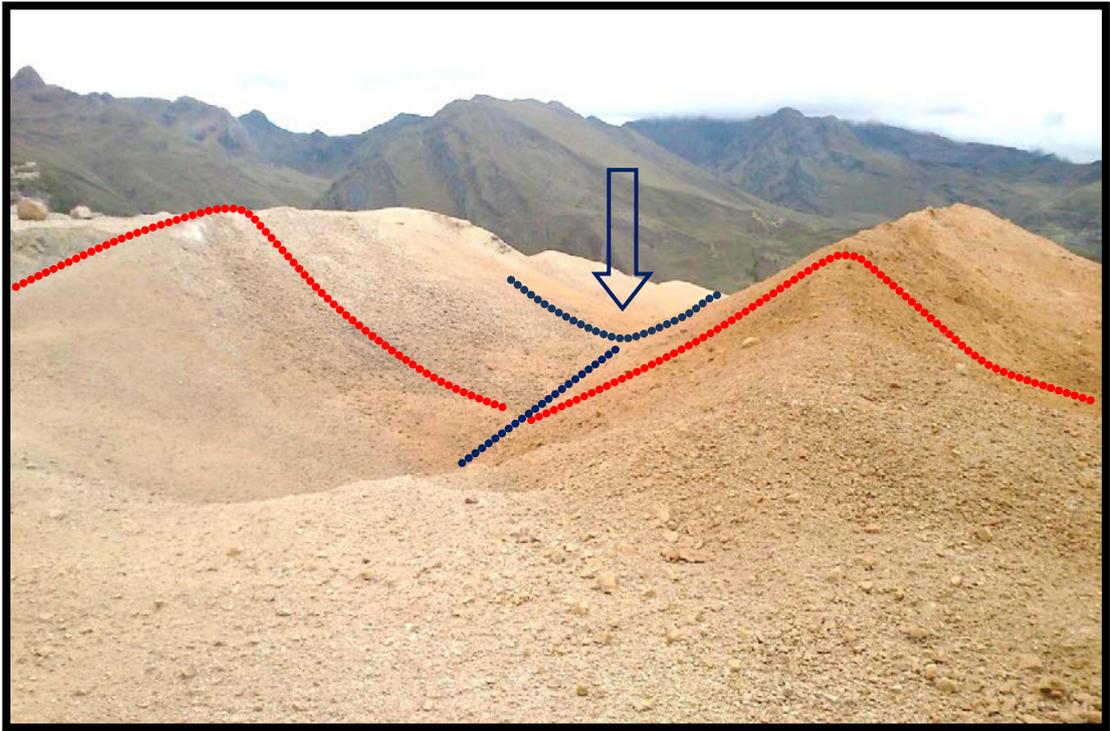


Figura 3.7. Foto del Proyecto Volado MI12 - 196

En la Figura 3.7 Se observa una buena fragmentación y un alto factor de esponjamiento (3.0 m aproximadamente), con un factor de potencia (FP) de 0.39 kg/t, se observa dos grandes apilamientos (dos puntos de inicio en paralelo y el amarre tipo V) y un gran desplazamiento en medio del proyecto ocasionando una alta dilución del mineral, esto sucede a la alta cantidad de carga explosiva por taladro.

### 3.4. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

El objetivo principal de cada voladura es fragmentar la roca a un tamaño que no presente inconveniente en este caso al pad de lixiviación, y que su costo sea bajo. Esta es una constante en todo proceso de voladura.

Después de cada prueba realizada se analiza la fragmentación a través del software Split, a continuación mostramos los análisis realizados en los proyectos.



Figura 3.8. Foto de voladura y minado

De la figura 3.8. Minado de la voladura donde se observa la zona del collar una fragmentación gruesa debido al carguío de explosivo con carga corrida.



Figura 3.9. Foto representativa de minado

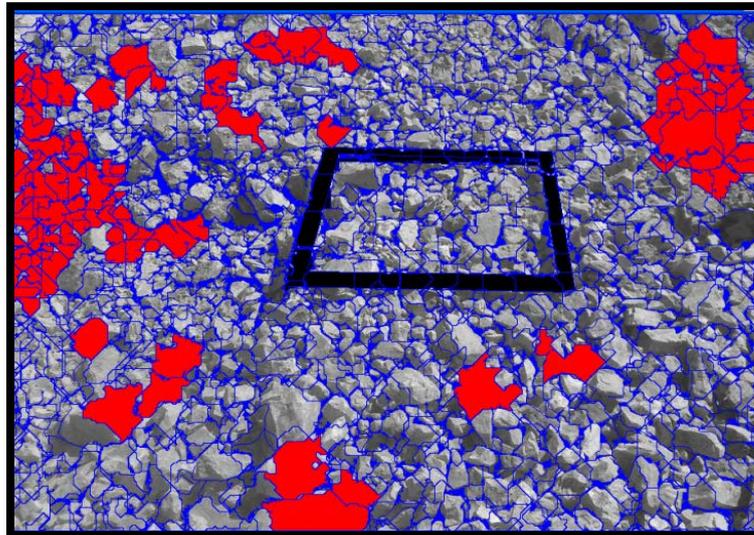


Figura 3.10. Análisis en software Split

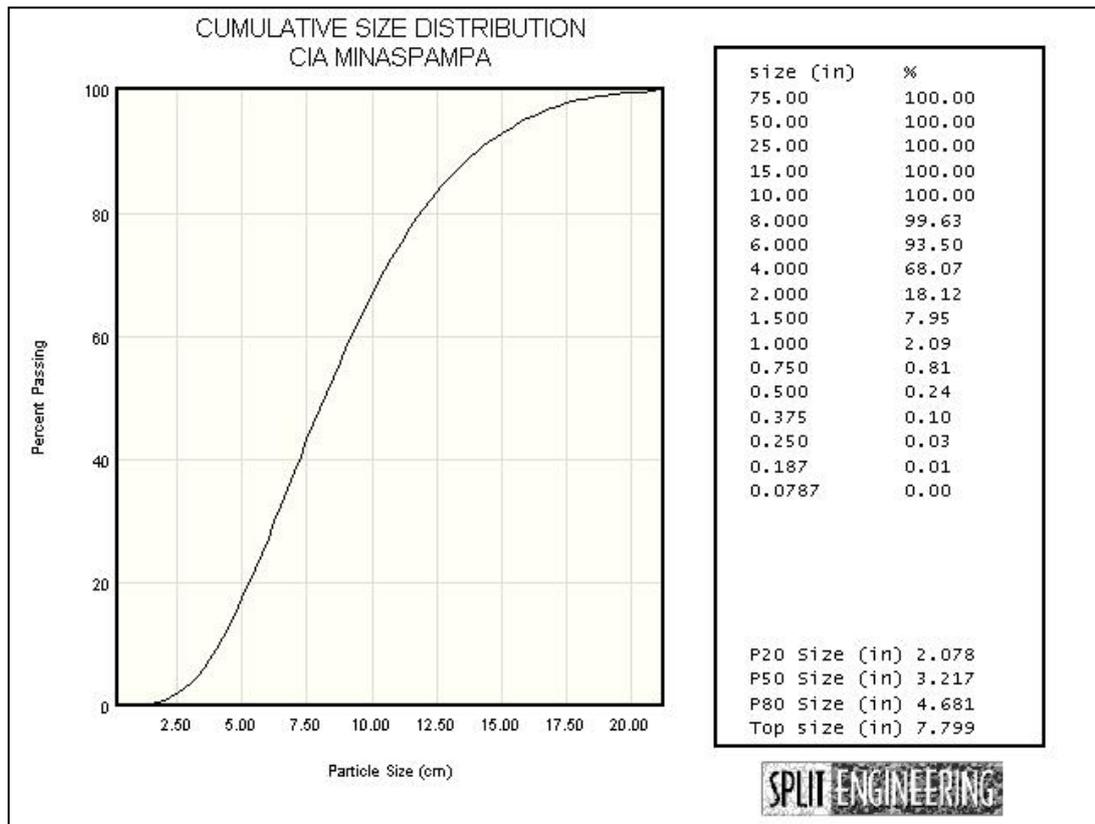


Figura 3.11. Resultados del análisis de fragmentación.

Este análisis permite comparar porcentaje de eficiencia plasmado en el resultado de los pasantes granulométricos.

De la figura 3.11. Se puede observa un pasante de 80% (P80) de 4.681”, esto se debe al material grueso que resulta en la zona del collar de una carga corrida.

### 3.5. ESTADÍSTICAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Las estadísticas de Perforación y Voladura, son principalmente los metros perforados (m), cantidad de explosivos utilizados (kg), toneladas rotas (t), factor de potencia en kilogramos de explosivo por tonelada (kg/t) y el costo unitario de perforación y voladura en dólares americanos por toneladas totas (US\$/t)

Tabla 3.2 Estadísticas de Perforación y Voladura 2012.

<b>METROS PERFORADOS (m)</b>									
Material	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Mineral	12,857	12,338	16,330	16,058	14,684	13,938	16,959	18,283	18,401
Desmante	33,252	33,403	45,201	43,718	43,467	41,376	42,650	42,013	42,028
<b>Total</b>	<b>46,109</b>	<b>45,742</b>	<b>61,531</b>	<b>59,777</b>	<b>58,151</b>	<b>55,314</b>	<b>59,609</b>	<b>60,296</b>	<b>60,430</b>
<b>EXPLOSIVOS (Kg)</b>									
Material	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Mineral	98,130	109,054	102,750	128,320	137,399	148,330	158,723	176,197	176,171
Desmante	241,770	236,246	316,072	331,430	415,291	501,530	424,277	452,323	437,959
<b>Total</b>	<b>339,900</b>	<b>345,300</b>	<b>418,822</b>	<b>459,750</b>	<b>552,690</b>	<b>649,860</b>	<b>583,000</b>	<b>628,520</b>	<b>614,130</b>
<b>TONELADAS ROTAS (t)</b>									
Material	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Mineral	258,851	258,116	340,808	360,503	346,023	376,949	442,398	590,494	579,232
Desmante	815,869	658,581	1,199,056	1,097,259	1,152,709	1,385,021	1,192,220	1,575,620	1,457,928
<b>Total</b>	<b>1,074,720</b>	<b>916,697</b>	<b>1,539,864</b>	<b>1,457,762</b>	<b>1,498,732</b>	<b>1,761,970</b>	<b>1,634,618</b>	<b>2,166,114</b>	<b>2,037,160</b>
<b>FACTOR DE POTENCIA (Kg/t)</b>									
Material	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Mineral	0.38	0.42	0.30	0.36	0.40	0.39	0.36	0.30	0.30
Desmante	0.30	0.36	0.26	0.30	0.36	0.36	0.36	0.29	0.30
<b>Total</b>	<b>0.32</b>	<b>0.38</b>	<b>0.27</b>	<b>0.32</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>	<b>0.36</b>	<b>0.29</b>	<b>0.30</b>
<b>COSTO DE PERFORACION Y VOLADURA (US\$/t)</b>									
Material	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Mineral	0.83	0.83	0.74	0.76	0.80	0.74	0.73	0.59	0.66
Desmante	0.67	0.82	0.62	0.67	0.72	0.62	0.70	0.53	0.60
<b>Total</b>	<b>0.71</b>	<b>0.82</b>	<b>0.64</b>	<b>0.69</b>	<b>0.74</b>	<b>0.65</b>	<b>0.71</b>	<b>0.54</b>	<b>0.62</b>

Fuente: Área de Costos y Presupuestos Minas pampa 2012

De la tabla 3.2 se observa los altos factores de potencia que se tiene en el 2012 en CIA Minas pampa.

## **CAPITULO IV**

### **PROPUESTA DE MEJORAMIENTO**

#### **4.1. CAMBIO DE MALLAS DE PERFORACIÓN**

El tipo de mineralización de CIA Minaspampa es un yacimiento no diseminado, esto quiere decir que la mineralización se presenta en estructuras tipo vetas, el área de geología determino que el espaciamiento (E) máximo entre taladros en zona de mineral debe ser de 3.5 m y en zona de desmonte 4.0 m ya que no se cuenta con información suficiente de perforaciones de exploración tales como diamantinas y RCD.

Debido a esta restricción no se puede ampliar el espaciamiento, por lo que se opto por cambiar la geometría de la malla manteniendo el mismo espaciamiento, se modifico de una malla triangular equilátera a una malla cuadrada.

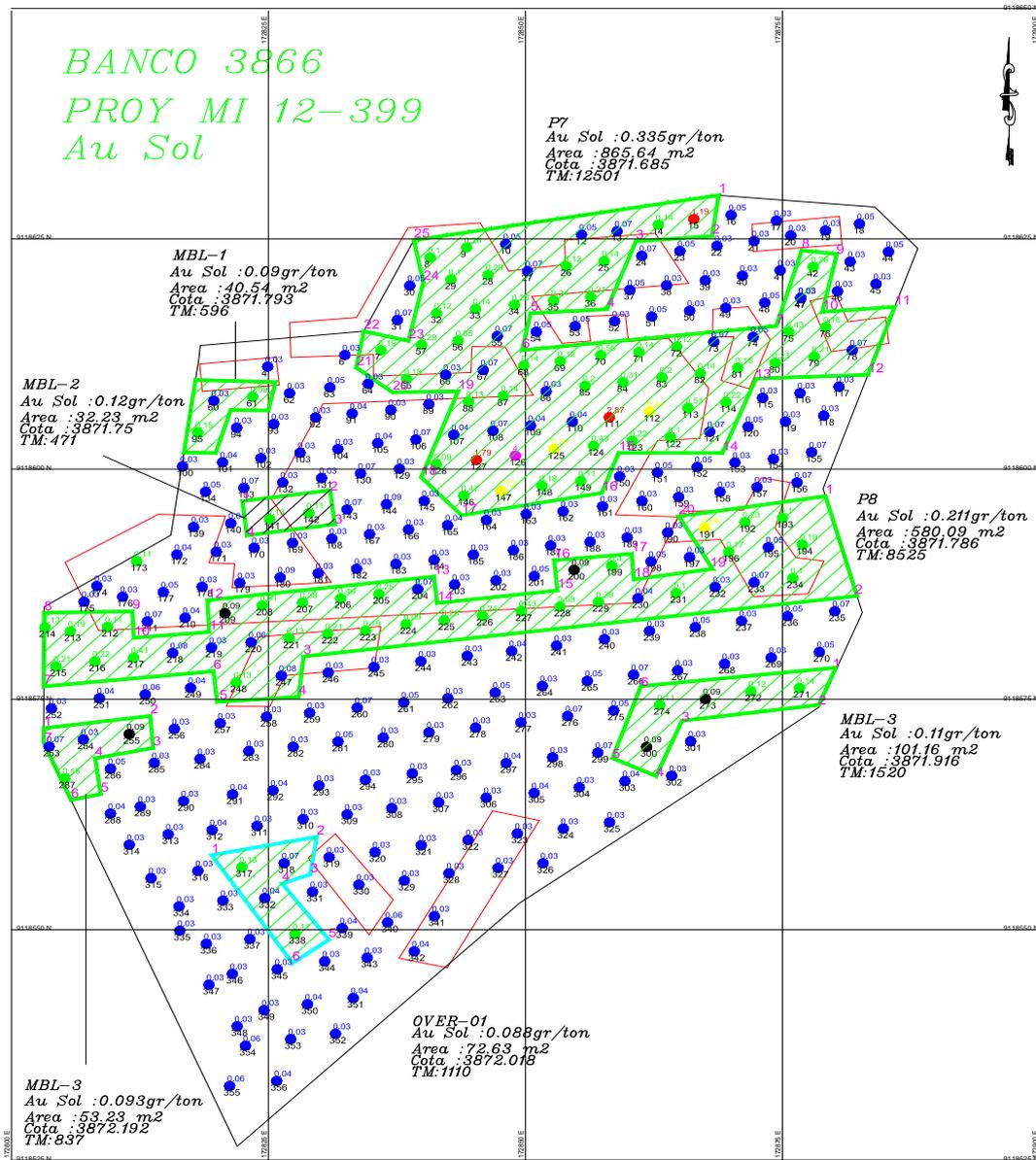


Figura 4.1. Mineralización Minaspampa [1]

De la figura 4.1. Se observa el tipo de mineralización en estructuras con potencias que van desde los 3 metros.

#### 4.1.1. DISEÑO DE MALLA

Se propuso cambiar la malla de perforación de producción a una malla cuadrada manteniendo el mismo espaciamiento que se utilizaba con la malla triangular equilátera, generando un mayor tonelaje por taladro y poder bajar el factor de potencia.

En una malla cuadrada se cumple que el Espaciamiento (E) = Burden (B) = 3.5 m en mineral y 4.0 m para desmonte



Figura 4.2. Malla Cuadrada

De la Figura 4.2. Se observa un proyecto con el diseño propuesto de Malla Cuadrada, además el carguío de taladros con dos Camiones Fabricas de 7.5 t de capacidad de Nitrato de Amonio.

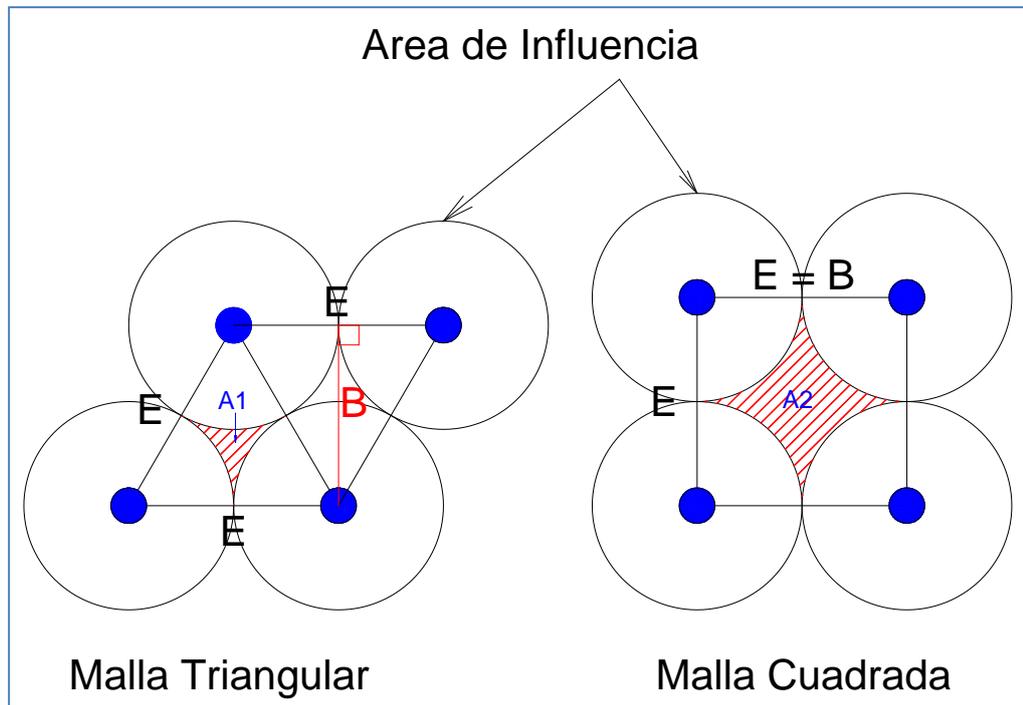


Figura 4.3. Malla Triangular vs Malla Cuadrada

De la Figura 4.3 se observa que al utilizar una malla cuadrada se tiene una área  $A_2$  de no influencia de los taladros, que es mayor que el área de una malla triangular  $A_1$  ( $A_2 > A_1$ ).

En el diseño de la malla triangular se tiene un exceso de energía, lo cual genera gran desplazamiento y apilamiento del material volado, en el caso de la malla cuadrada ese exceso de energía es aprovechado por el área de no influencia  $A_2$ .

El Cambio de diseño de mallas se aplica tanto para zonas de Mineral como para Desmonte.

Tabla 4.1. Comparación de parámetros Geométricos para Mineral y Desmonte

MINERAL				
Malla	Und	Triangular 3.5x3.0 m	Cuadrada 3.5x3.5 m	Variación
Área	m <sup>2</sup>	10.65	12.25	13%
Volumen	m <sup>3</sup>	63.91	73.50	13%
tonelaje	t	162.34	186.69	13%
DESMONTE				
Malla	Und	Triangular 4.0x3.5 m	Cuadrada 4.0x4.0 m	Variación
Área	m <sup>2</sup>	13.91	16	13%
Volumen	m <sup>3</sup>	83.48	96.00	13%
tonelaje	t	212.03	243.84	13%

En la Tabla 4.1. Se observa que utilizando una malla cuadrada se tiene un incremento de 13% en el área de influencia por taladro por lo que en tonelaje roto también genera el mismo incremento, esto nos genera un ahorro en los metros de perforación en un 13%.

El costo de perforación en CIA Minaspampa es de 12.25 US\$/m perforado, es un costo elevado, con esta nueva malla cuadrada nos ahorramos el 13% en la perforación total, siendo este un ahorro considerable.

## 4.2. CAMBIO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA

Debido al alto factor de potencia, se realizó una distribución de cargas espaciadas en Deck para zonas de Mineral, el cual aplicando la teoría de Cráter de Livingston (1951) para el deck superior, se determina la cantidad de carga explosiva la cual debe aplicarse para aprovechar al máximo el efecto cráter, logrando un adecuado control de las rocas volantes (Fly Rock) y de igual manera un adecuado aprovechamiento de la energía en el deck superior del taladro cargado bajo un esquema de carga distribuida, se aprecia los diferentes valores de las constantes las cuales se calculan dividiendo la distancia del taco entre los kilos de explosivo que actuaran bajo el efecto de cráter el cual es 10 veces el diámetro del taladro a detonar.

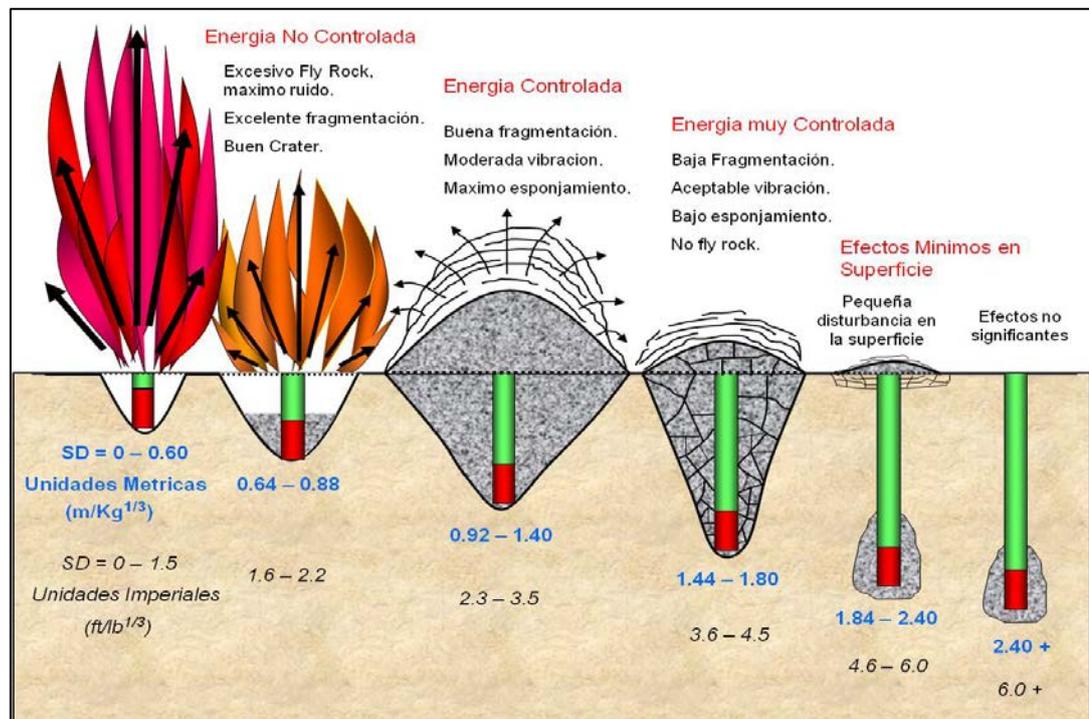


Figura 4.4. Teoría de Cráter de Livingston [2]

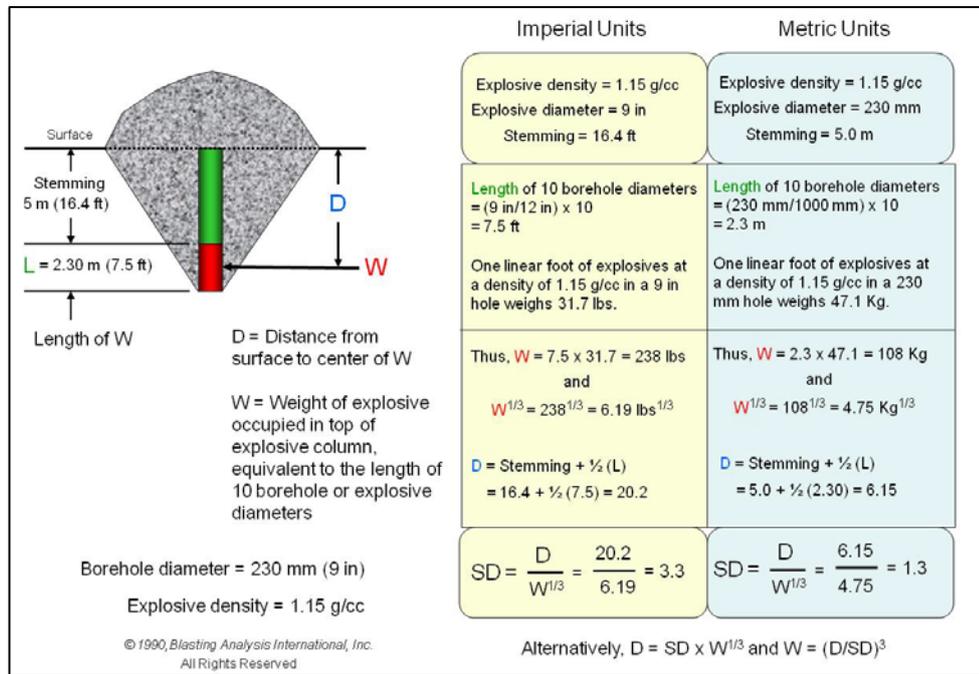


Figura 4.5. Metodología del cálculo de la teoría de Livingston [2]

De la Figura 4.5, se aplica para cálculos en cargas espaciadas (Deck superior) y taladros satélites, con el fin de poder fragmentar la roca en la parte del collar (zona del taco de un taladro de carga corrida).

#### 4.2.1. Alternativas de Esquemas de Carga Distribuida con ANFO para Mineral

Se hicieron pruebas en campo sobre los esquemas de carga distribuida para zonas de mineral, donde se obtuvieron dos alternativas, luego aplicando la teoría de Livingston se procedió a calcular cuál de estas dos alternativas cumplió para aprovechar al máximo el efecto cráter.

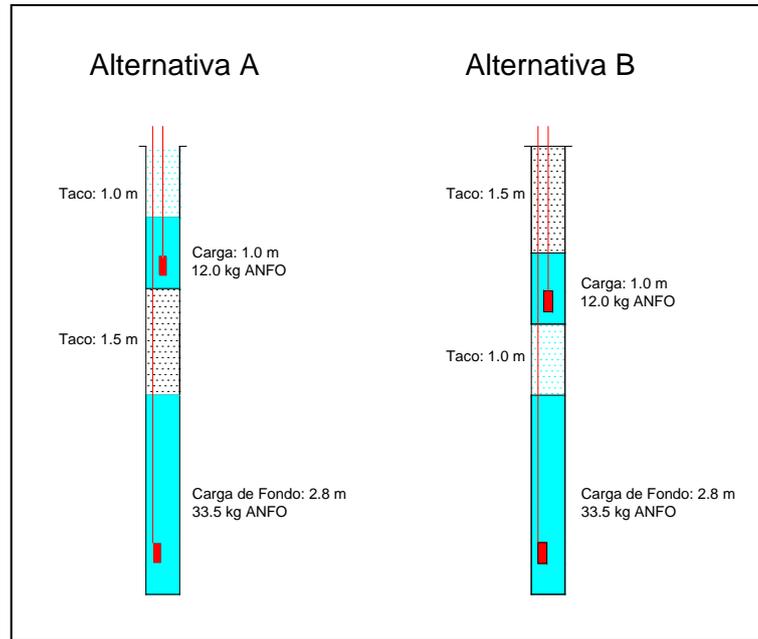


Figura 4.6. Alternativas de propuesta en la Distribución de cargas para mineral

Tabla 4.2 Resultados Aplicando la Teoría de Cráter de Livingston

	Alternativa A	Alternativa B	
Diámetro de Perforación	5.0	5.0	Pulg
Longitud de Taco	1.00	1.50	m
Densidad del Explosivo	0.80	0.80	g/cc
Carga Lineal	12.0	12.0	kg/m
$SD = \frac{D_{SD}}{W_{SD}^{1/3}}$	w	12.0	12.0 kg
	D	1.5	2.0 m
	<b>SD</b>	<b>0.66</b>	<b>0.87</b>

De la tabla 4.2 se opta por la Alternativa B debido a que la relación SD se Aproxima a 0.92 – 1.40 (Carga Controlada), y en las pruebas realizadas con esta alternativa dieron buenos resultados, buena fragmentación de roca en la parte del collar y sin proyección de roca (Fly Rock).

#### 4.2.2. Alternativa de Esquema de Carga con ANFO para Desmorte

Los taladros en las zonas de Desmorte no requieren distribuir la carga explosiva, no se quiere que la voladura este bien fracturado como el Mineral, lo que si se requiere es un material lo suficientemente fracturado para que no afecte al carguío. Lo que se busca es una fragmentación que no perjudique el rendimiento de los equipos de carguío, elevando el costo de acarreo.

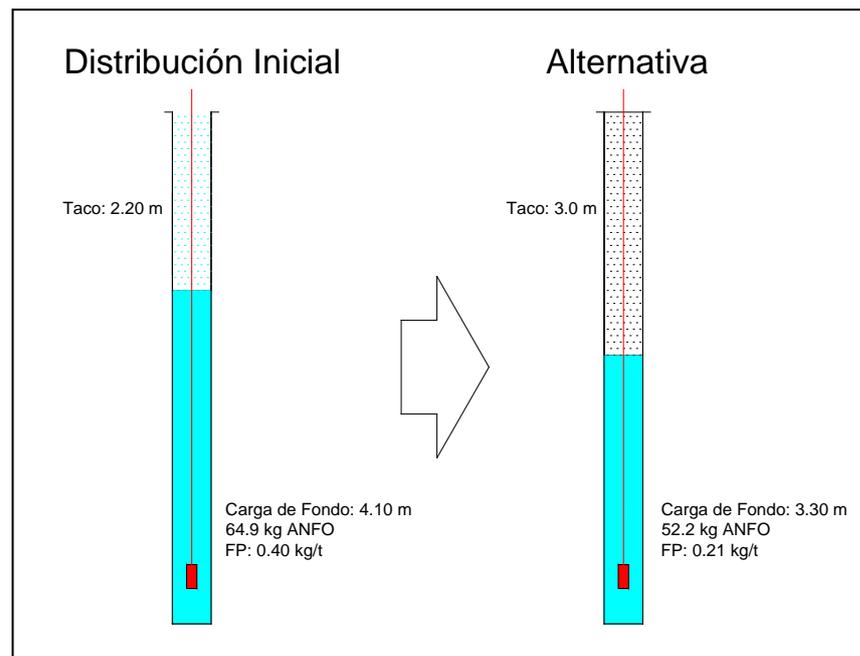


Figura 4.7. Alternativa de Distribución de carga para Desmorte.

## **CAPITULO V**

### **ANÁLISIS DE VOLADURAS CON LOS NUEVOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA**

Estas pruebas se realizaron en los meses de Agosto y Setiembre del 2012, la primera prueba en carga distribuida (Deck) solo fue de 20 taladros (Malla de mineral en zona de desmonte), luego de los buenos resultados obtenidos se realizo pruebas en la mitad de un proyecto de mineral donde también se obtuvo buenos resultados, para luego hacer pruebas en todo un proyecto de mineral.

Las pruebas que realizo el área de Perforación y Voladura fue supervisada por la Superintendencia Mina, dando el visto bueno de implementar estos nuevos parámetros a partir del mes de Octubre 2012.

El análisis de voladuras con los nuevos parámetros corresponde a los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2012, donde se analiza la fragmentación y el ahorro de los costos unitarios.

## 5.1. ANÁLISIS DE NUEVOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.

Los nuevos parámetros implementados por el Área de Perforación y Voladura en CIA Minaspampa, se puede apreciar un bajo factor de potencia (FP), la utilización de una malla cuadrada y la distribución de carga explosiva en deck.

Estos parámetros se hicieron estándar para todas las zonas del tajo Minaspampa sin excepción, obteniendo los mismos resultados de fragmentación.

Tabla 5.1. Nuevos Parámetros de Perforación y Voladura

TAJO Material Explosivo	Und	MNP MINERAL Anfo	MNP DESMONTE Anfo
Densidad Explosivo	kg/m <sup>3</sup>	0.80	0.80
Diametro	pulg	5.00	5.75
Espaciamiento (E)	m	3.50	4.00
Burden (B)	m	3.50	4.00
Banco	m	6.00	6.00
Sobreperforacion	m	0.30	0.30
Densidad Roca	kg/m <sup>3</sup>	2.54	2.54
Area	m <sup>2</sup>	12.25	16.00
Volumen	m <sup>3</sup>	73.50	96.00
Tonelaje/taladro	t	186.76	243.94
Taco	m	1.5	3.0
Carga Piloto	m	12.0	
Taco Intermedio	kg	1.0	
Carga Fondo	kg	33.5	52.2
Carga/metro	kg	12.0	15.8
Carga/taladro	kg	45.5	52.2
Factor Potencia	kg/t	0.24	0.21

Fuente: Área de Perforación y Voladura Minaspampa 2012

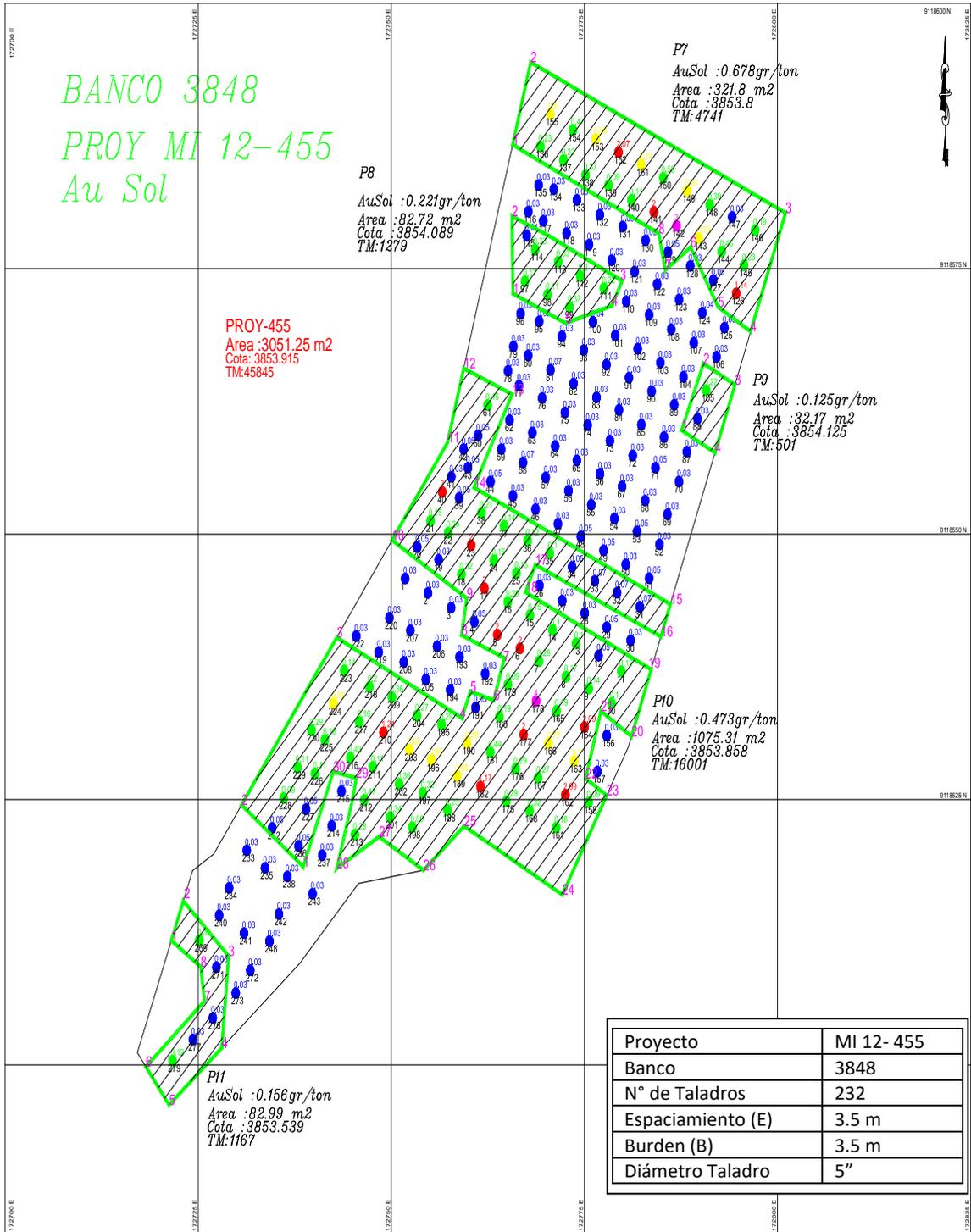


Figura 5.1. Proyecto en zona de mineral con los nuevos parámetros [1].

De la figura 5.1 se observa la aplicación de la malla cuadrada en zona de mineral.



### REPORTE CARGUIO DE TALADROS

FECHA DE DISPARO 01-10-12

FECHA	<u>30-9-20</u>	TAJO	<u>MINIS</u>	AL.BANCO	<u>6.0</u>	TN / RO / TA.	
CAMION	<u>466925</u>	BANCO	<u>m</u>	ESPACIAMIENTO	<u>3,5</u>	FACTOR POT.	
OPERADOR	<u>D. TUNO</u>	PROYECTO	<u>455</u>	BURDEN	<u>3,5</u>	TACO.	

N° T.	KG/TAL.	AL. BAC												
1	64		51	32	41	101	32	11	151	30	11	201	28	11
2	15		52	39	41	102	31	11	152	30	11	202	40	11
3	32		53	34	41	103	33	11	153	35	11	203	29	11
4	38		54	29	41	104	33	11	154	34	11	204	48	11
5	40		55	34	41	105	36	11	155	22	11	205	29	11
6	45		56	38	41	106	30	11	156	33	11	206	24	11
7	38	12	57	26	41	107	30	11	157	30	11	207	38	11
8	47	12	58	34	41	108	28	11	158	36	11	208	36	11
9	40	12	59	40	41	109	31	11	159	38	11	209	40	11
10	33	12	60	33	41	110	28	11	160	45	12	210	40	11
11	34	42	61	32	41	111	22	11	161	29	12	211	48	11
12	37	12	62	28	41	112	28	11	162	29	11	212	28	11
13	40	12	63	33	41	113	32	11	163	24	10	213	39	11
14	35	42	64	30	41	114	30	11	164	55	11	214	48	11
15	32	42	65	28	41	115	30	11	165	24	11	215	48	11
16	26	12	66	30	41	116	39	11	166	24	11	216	40	11
17	38	12	67	34	41	117	32	11	167	34	11	217	25	11
18	30	12	68	32	41	118	32	11	168	29	11	218	32	11
19	32	12	69	40	41	119	29	11	169	36	11	219	36	11
20	40	12	70	40	41	120	31	11	170	54	11	220	33	11
21	14	12	71	30	41	121	29	11	171	32	11	221	35	11
22	33	12	72	40	41	122	32	11	172	38	11	222	24	11
23	39	42	73	34	41	123	22	11	173	25	11	223	32	11
24	36	41	74	28	41	124	32	11	174	18	11	224	34	11
25	36	12	75	22	41	125	30	11	175	48	11	225	28	11
26	32	11	76	32	41	126	31	11	176	22	11	226	33	11
27	25	41	77	32	41	127	26	11	177	24	11	227	46	11
28	27	41	78	39	41	128	30	11	178	34	11	228	32	11
29	47	41	79	29	41	129	29	11	179	35	11	229	22	11
30	40	41	80	34	41	130	22	11	180	23	11	230	29	11
31	26	41	81	40	41	131	29	11	181	56	11	231	29	11
32	26	41	82	40	41	132	29	11	182	40	11	232	44	11
33	24	41	83	40	41	133	35	11	183	49	11	233		11
34	30	41	84	39	41	134	36	11	184	46	11	234		11
35	25	41	85	37	41	135	11	11	185	40	11	235		11
36	22	41	86	31	41	136	22	11	186	40	11	236		11
37	22	41	87	34	41	137	23	11	187	26	11	237		11
38	26	41	88	34	41	138	29	11	188	24	11	238		11
39	28	41	89	34	41	139	28	11	189	26	11	239		11
40	21	41	90	28	41	140	26	11	190	30	11	240		11
41	22	41	91	33	41	141	32	11	191	36	11	241		11
42	40	41	92	30	41	142	30	11	192	34	11	242		11
43	30	41	93	30	41	143	22	11	193	53	11	243		11
44	27	41	94	28	41	144	36	11	194	31	11	244		11
45	33	41	95	33	41	145	30	11	195	24	11	245		11
46	26	41	96	32	41	146	32	11	196	30	11	246		11
47	22	41	97	34	41	147	24	11	197	36	11	247		11
48	20	41	98	36	41	148	27	11	198	46	11	248		11
49	25	41	99	30	41	149	36	11	199	29	11	249		11
50	22	41	100	29	41	150	28	11	200	50	11	250		11

TOTAL EXPLOSIVO	<u>10632</u>	TOTAL TAL.	
NA	<u>D2 447</u>		
EM	<u>N20</u>		

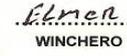
  

.....



OPERADOR

.....



WINCHERO

.....



JEFE PERF. Y VOL

Figura 5.2. Reporte de carguío de taladros en Decks [3]

De la figura 5.2. Se observa El carguío en Deck, carga de fondo y carga piloto.



Figura 5.3 Foto del Proyecto Volado MI12- 455

En la Figura 5.3 Se observa una buena fragmentación, bajo esponjamiento (efecto de ondas o efecto chupos) esto quiere decir que cada taladro detonado está en su sitio controlando la dilución y desplazamiento del material volado, con un bajo Factor de potencia (FP) 0.23 kg/t en zona de mineral.

## **5.2 ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN DE MINERAL**

Después de cada voladura realizada se analiza la fragmentación a través del software Split, a continuación mostramos los análisis realizados en los proyectos volados, donde se obtuvieron resultados de fragmentación muy buenos.



Figura 5.4. Foto de voladura

Figura 5.4 Foto de Voladura en la zona del collar del proyecto MI12-455, mediante el uso de malla cuadrada y carguío en deck.



Figura 5.5. Foto de minado

De la Figura 5.5 se observa el material volado muy fino, la excavadora mina sin ninguna dificultad, el material volado presenta la misma fragmentación tanto en parte baja como en la parte alta (Fragmentación homogénea).



Figura 5.6. Foto representativa de minado.

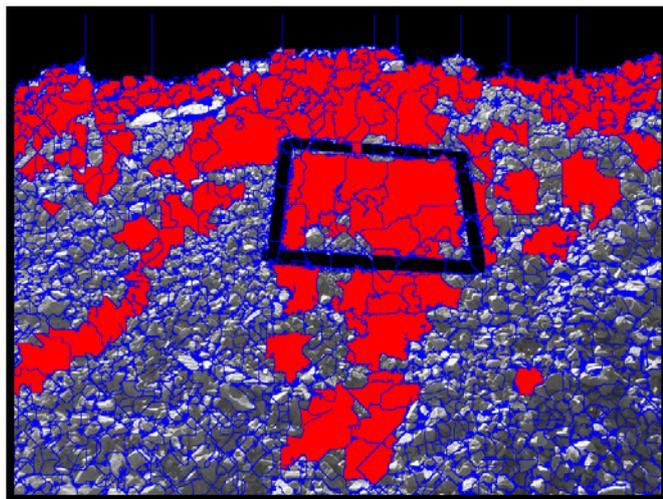


Figura 5.7. Análisis en Software Split.

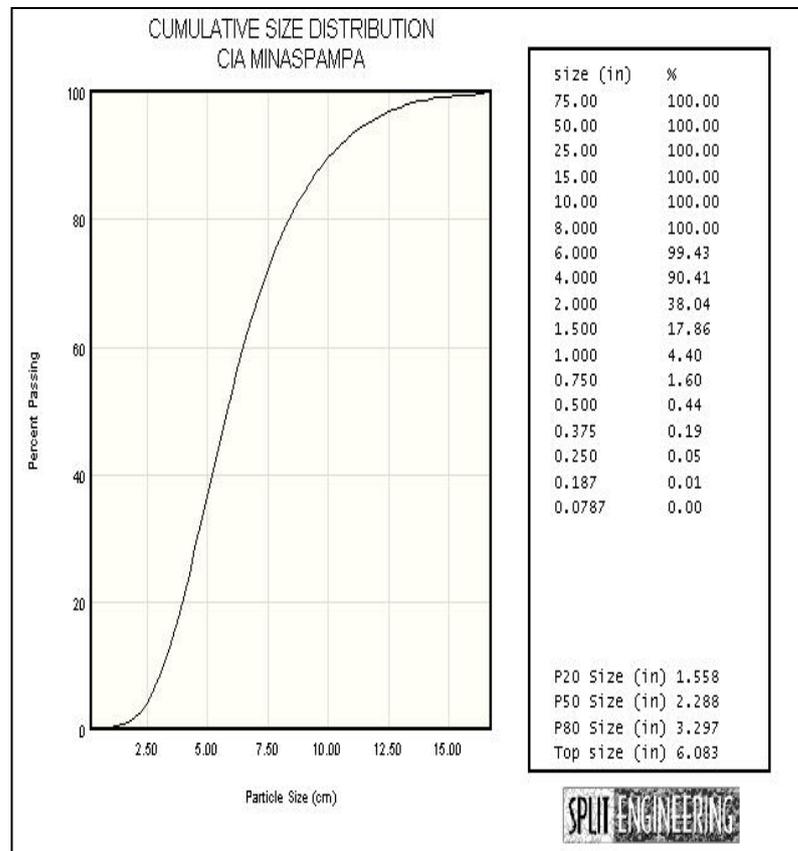


Figura 5.8. Resultados del análisis de fragmentación

Este análisis permite comparar porcentaje de eficiencia plasmado en el resultado de los pasantes granulométricos.

De la figura 5.8. Se puede observa un pasante de 80% (P80) de 3.297", por debajo de lo que plata pide que es de 4" que resulta mediante el uso de carga distribuida Deck.

### 5.3. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN DE DESMONTE

El análisis en zonas de desmonte se tiene en consideración básicamente en una fragmentación gruesa que no afecte el rendimiento de los equipos de carguío.



Figura 5.9. Foto de Voladura en desmonte.



Figura 5.10. Foto representativa de minado

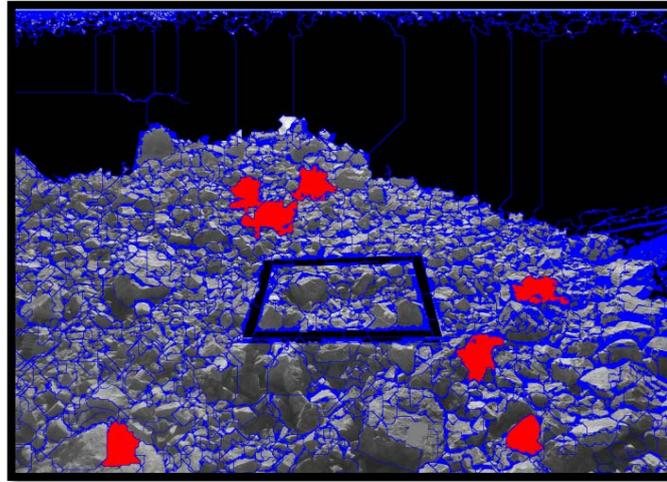


Figura 5.11. Análisis en Software Split

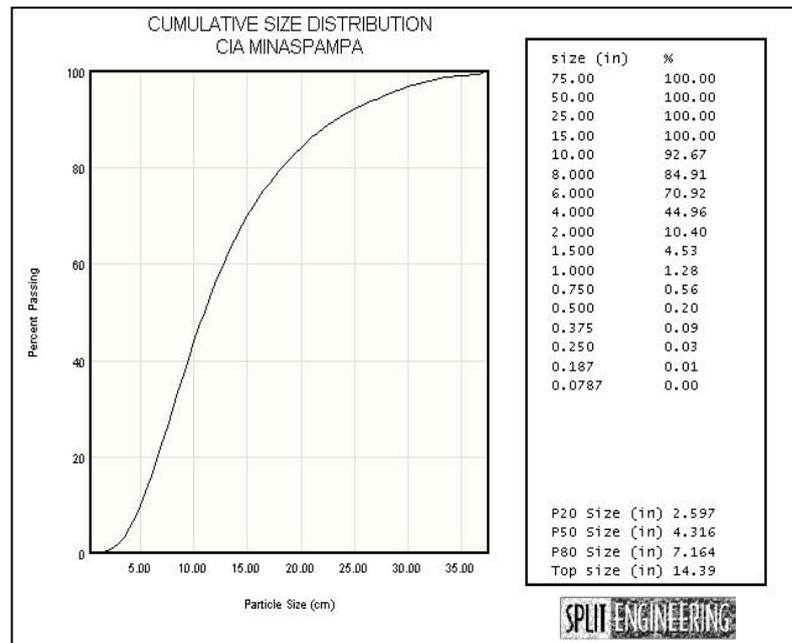


Figura 5.12. Resultados del análisis de fragmentación

De la figura 5.12 se puede observar un P80 de 7.164 pulgadas, esto se debe al material grueso que resulta en la zona del collar de una carga corrida la que es utilizada en desmonte, esta fragmentación es apropiada para zonas de desmonte sin afectar de forma significativa el rendimiento de los equipos de carguío.

#### 5.4. ESTADÍSTICAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Las estadísticas de perforación y voladura en los últimos 3 meses del 2012 donde se utilizó los nuevos parámetros, fue bajando considerablemente, el Factor de Potencia a 0.22 kg/t, además del costo de Perforación y Voladura a 0.50 US\$/t

Tabla 5.2 Estadísticas de Perforación y Voladura con los nuevos parámetros.

<b>METROS PERFORADOS</b>					
Material	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mineral	18,283	18,401	13,842	16,240	19,135
Desmonte	42,013	42,028	33,267	37,025	50,791
<b>Total</b>	<b>60,296</b>	<b>60,430</b>	<b>47,108</b>	<b>53,265</b>	<b>69,926</b>
<b>EXPLOSIVOS (Kg)</b>					
Material	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mineral	176,197	176,171	132,087	120,029	142,896
Desmonte	452,323	437,959	320,033	289,481	427,104
<b>Total</b>	<b>628,520</b>	<b>614,130</b>	<b>452,120</b>	<b>409,510</b>	<b>570,000</b>
<b>TONELADAS ROTAS (t)</b>					
Material	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mineral	590,494	579,232	505,962	483,924	653,472
Desmonte	1,575,620	1,457,928	1,240,735	1,239,271	1,967,497
<b>Total</b>	<b>2,166,114</b>	<b>2,037,160</b>	<b>1,746,697</b>	<b>1,723,195</b>	<b>2,620,969</b>
<b>FACTOR DE POTENCIA (Kg/t)</b>					
Material	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mineral	0.30	0.30	0.26	0.25	0.22
Desmonte	0.29	0.30	0.26	0.23	0.22
<b>Total</b>	<b>0.29</b>	<b>0.30</b>	<b>0.26</b>	<b>0.24</b>	<b>0.22</b>
<b>COSTO DE PERFORACION Y VOLADURA (US\$/t)</b>					
Material	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mineral	0.59	0.66	0.57	0.62	0.53
Desmonte	0.53	0.60	0.55	0.57	0.49
<b>Total</b>	<b>0.54</b>	<b>0.62</b>	<b>0.55</b>	<b>0.58</b>	<b>0.50</b>

Fuente: Área de Costos y Presupuestos Minas pampa 2012

## CAPITULO VI

### EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICO

#### 6.1. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICO DE PERFORACIÓN.

La perforación es realizada por la contratista Andean Management, el cual se les paga por metro perforado y cuentan con cuatro perforadoras, 02 perforadoras SCHRAMM T450GT, con diámetro de 5” y 02 perforadoras DM45 Atlas Copco de 5¾” y el costo por metro es de 12.25. US\$/m.

Tabla 6.1. Ahorro en Perforación en US\$.

#### METROS PERFORADOS 2012 (Octubre - Diciembre)

	Material	Total metros Perforados (m)	Toneladas rotas (t)	Malla
Malla Cuadrada (Real)	Mineral	49,217	<b>1,458,459</b>	3.5 x 3.5
	Desmonte	121,083	<b>4,686,471</b>	4.0 x 4x0
	<b>Total</b>	<b>170,299</b>	<b>6,144,930</b>	
Malla Triangular	Mineral	56,599	<b>1,458,459</b>	3.5 x 3.0
	Desmonte	139,245	<b>4,686,471</b>	4.0 x 3.5
	<b>Total</b>	<b>195,844</b>	<b>6,144,930</b>	
Diferencia en metros		25,545		
Costo US\$/m		12.25		
<b>Diferencia Costo en US\$</b>		<b>312,925</b>		

## 6.2. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICO DE EXPLOSIVOS.

El servicio de Voladura Mina es realizada por CIA Minaspampa, contando con 02 camiones Fabrica con capacidad de 7.5 t de Nitrato de Amonio, el costo extra por explosivos es por utilizar en malla de Mineral un booster y fanel adicional por el diseño en Deck (solo en la zona de mineral).

El factor de Potencia promedio en el mes de Agosto y Setiembre 2012 es de 0.30 kg/t, y el Promedio de los meses de Octubre a diciembre del 2012 fue de 0.24 kg/t.

Tabla 6.2. Factor de Potencia del 2012

Mes	Agosto	Septiembre	Promedio
<b>FP (kg/t)</b>	0.29	0.30	<b>0.30</b>

Mes	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
<b>FP (kg/t)</b>	0.26	0.24	0.22	<b>0.24</b>

Fuente: Área de Perforación y Voladura CIA Minaspampa 2012

Tabla 6.3 Ahorro en Explosivos en US\$.

<b>TOTAL EXPLOSIVO 2012 (Octubre - Diciembre)</b>			
Malla	Toneladas Rotas (t)	FP (kg/t)	Explosivo (kg)
Cuadrada	6,144,930	0.24	1,474,783
Triangular	6,144,930	0.30	1,843,479
<b>Diferencia kg</b>		<b>368,696</b>	
Costo ANFO US\$/kg		0.745	
Costo Total Explosivo US\$		274,678	
Costo Accesorios US\$		-54,685	
<b>Total Costo US\$</b>		<b>219,994</b>	

### 6.3. EVALUACIÓN FINAL DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

De la Tabla 6.4 se observa un ahorro total de 532,919 US\$ en los últimos 3 meses del 2012 (Octubre – Diciembre)

Tabla 6.4. Ahorro Total

Perforación	US\$	312,925
Explosivos	US\$	219,994
<b>Total</b>	<b>US\$</b>	<b>532,919</b>

### 6.4. DISMINUCIÓN DE LOS COSTOS UNITARIOS (US\$/t)

Aplicando los nuevos parámetros se obtuvieron una disminución significativa de los costos unitarios, con una reducción del 20%.

Tabla 6.5. Variación en el Costo Unitario de perforación y Voladura

<b>COSTO DE PERFORACION Y VOLADURA US\$/t ROTAS 2012</b>									
Material	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Mineral	0.83	0.83	0.74	0.76	0.80	0.74	0.73	0.59	0.66
Desmante	0.67	0.82	0.62	0.67	0.72	0.62	0.70	0.53	0.60
<b>Total</b>	<b>0.71</b>	<b>0.82</b>	<b>0.64</b>	<b>0.69</b>	<b>0.74</b>	<b>0.65</b>	<b>0.71</b>	<b>0.54</b>	<b>0.62</b>
Promedio									<b>0.68</b>
Material	Octubre	Noviembre	Diciembre						
Mineral	0.57	0.62	0.53						
Desmante	0.55	0.57	0.49						
<b>Total</b>	<b>0.55</b>	<b>0.58</b>	<b>0.50</b>						
Promedio			<b>0.55</b>						
Variación			<b>20%</b>						

## 6.5. RENDIMIENTOS DE EQUIPOS DE CARGUÍO.

El análisis de rendimientos de equipos de carguío se toma en cuenta en las zonas de desmonte, ya que en zonas de mineral no se tiene mayores dificultades, En cuanto al desmonte en gran parte de las zonas estudiadas, los equipos de carguío presentaron rendimientos cercanos a lo programado.

Tabla 6.6. Promedio de toneladas movidas por hora.

Promedio de rendimientos (t/h)

EQUIPO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
500LC-3		652	657	752	820	807	809	799	835	816	929	854
EC360-1D	529		610	686	649		663	642	596	642	650	649
EC360-2O	474	529	657	809	764	609	663	727	687	620	725	786
EC360-3O	551	551	576	690	673	678	692	638	656	714	721	719
EC360-3T	395	562	548	811	616	630	640	484	628	493	478	674
EC460-1D					821	839	839	845	868	872	877	911

Fuente: Área de Control de Equipos CIA Minasampa 2012

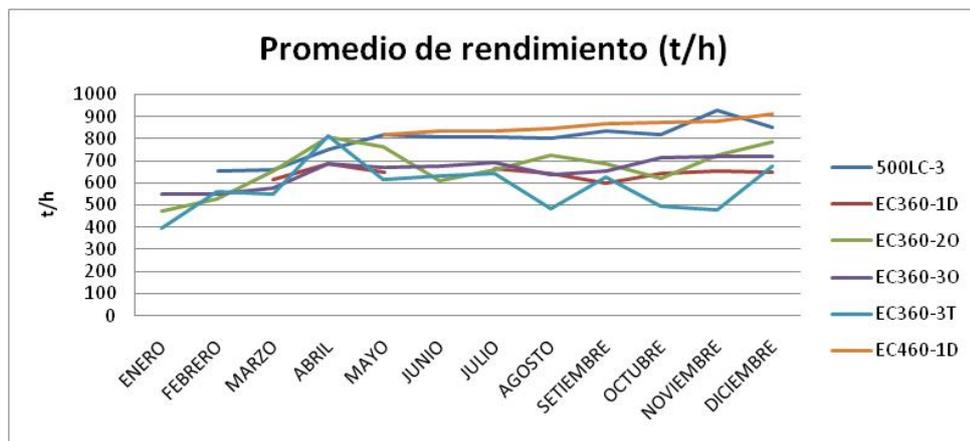


Figura 6.1. Grafica de promedio de rendimiento [4]

De la grafica 6.1 se puede observar que no hay una variación significativa en el rendimiento de los equipos de carguío en este caso de las excavadoras.

## 6.6. EVOLUCIÓN DE LA RECUPERACIÓN METALÚRGICA.

De la tabla 6.6 se observa un incremento en los últimos 3 meses de la recuperación Metalúrgica de Oro, de 57.86% a 61.40%, esto debido al control de dilución de la Voladura.

Tabla 6.7 Recuperación Metalúrgica de Au 2012

RECUPERACION METALURGICA 2012									
Material	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Mineral Extraído (t)	252,362	250,096	315,172	319,396	330,880	356,950	362,340	434,256	438,564
Desmante Extraído (t)	737,826	755,986	917,026	938,616	926,128	1,071,964	1,193,368	1,188,502	1,437,342
Au Ley (g/t)	0.343	0.366	0.388	0.401	0.342	0.359	0.383	0.344	0.380
<b>% Rec. Met. Au</b>	<b>56.48%</b>	<b>56.09%</b>	<b>54.29%</b>	<b>58.59%</b>	<b>63.24%</b>	<b>55.19%</b>	<b>57.01%</b>	<b>61.66%</b>	<b>58.19%</b>
Au. Onz.	1,573	1,649	2,134	2,412	2,304	2,277	2,545	2,961	3,117
								Promedio % Rec. Met. Au	57.86%
Material	OCT	NOV	DIC						
Mineral Extraído	450,612	514,124	594,996						
Desmante Extraído	1,244,014	1,075,172	1,688,934						
Au Ley (g/Tm)	0.358	0.327	0.335						
<b>% Rec. Met. Au</b>	<b>63.61%</b>	<b>59.05%</b>	<b>61.54%</b>						
Au. Onz.	3,299	3,196	3,944						
			Promedio % Rec. Met. Au	<b>61.40%</b>					

Fuente: Área Planta ADR CIA Minas pampa 2012

## CONCLUSIONES

Con la nueva configuración de malla de perforación y de carga en mineral, se logro minimizar costos en la perforación y voladura en CIA Minaspampa, con estas nuevas configuraciones se obtuvo un ahorro significativo en metros de perforación y consumo de mezclas explosivas en este caso ANFO.

En CIA Minaspampa debido al tipo de yacimiento no se puede ampliar la malla por lo que se recomienda usar un explosivo no muy potente como el ANFO.

Con la optimización de los parámetros de perforación y voladura se redujo el factor de potencia de un promedio de 0.30 kg/t en el mes de Agosto-Setiembre a un factor de potencia promedio de 0.24 kg/t en los meses de Octubre-Diciembre del 2011.

Se redujo en un 20% los costos unitarios de un promedio de 0.68 US\$/t en los meses de Enero-Setiembre de 2012 a un costo unitario promedio de 0.55 US\$/t en los meses de Octubre-Diciembre del 2012.

Se logro controlar la dilución en la zona de mineral ya que en los últimos 3 meses de Octubre – diciembre 2012, se logro aumentar la recuperación metalúrgica de Oro de un promedio de 57.86% a 61.40%.

En cuanto al desmonte en gran parte de las zonas estudiadas, los equipos de carguío presentaron rendimientos cercanos a lo programado.

Con respecto a la fragmentación a nivel del taco en zona de mineral, se obtuvieron mejores resultados con la aplicación de cargas espaciadas Deck, aplicando la teoría de cráteres de Livingston.

Considerando los resultados técnicos y económicos CIA Minaspampa ha establecido como malla de perforación estándar, la malla cuadrada 3.5 x 3.5 m en mineral, la malla Cuadrada 4.0 x 4.0 para Desmonte.

Con la nueva configuración de malla de Perforación y de carga en Mineral, se obtuvieron rendimientos de los equipos de carguío sobre lo establecido, debido principalmente al grado de fragmentación obtenido en las voladuras, que presenta altos porcentajes de material fino P80% menor a 4" (P80% 3.297"), lo que produce un buen manejo del material por parte del equipo de carguío.

Finalmente con las nuevas configuraciones y propuestas no se produjo un mejoramiento sustancial en cuanto a la fragmentación (Fragmentación muy buena antes de la nueva configuración) y rendimientos se refiere, pero se obtuvo resultados similares a un costo menor de perforación y Voladura menor, generando un ahorro en los meses de Octubre – Diciembre del 2012 de US\$ 532,919 generado principalmente por la aplicación de la malla cuadrada y distribución de cargas en Deck.

Toda implementación trae consigo un beneficio, y esto es lo que se logro con el uso de la malla cuadrada y la distribución de cargas en Deck.

## RECOMENDACIONES

En CIA Minaspampa por el tipo de yacimiento no se puede ampliar la malla por lo que se recomienda usar ANFO, ya que si se utilizaría otros explosivos como Heavy ANFO, Emulsiones Gasificadas (SAN-G, Fortis Advance), elevaría el factor de Potencia debido a las altas densidades mayores a 0.95 kg/m<sup>3</sup>.

Se recomienda usar en los Decks un tiempo de desfase que deben oscilar entre 3 ms a 5 ms, y no utilizar dos faneles del mismo tiempo de retardo, debido a que se utiliza faneles pirotécnicos y tienen una alta dispersión 2.5% aproximadamente que podría causar que el tiempo entre uno y otro deck con carga explosiva sea muy largo no favoreciendo a la formación adecuada de las caras del movimiento del burden.

Se recomienda realizar pruebas con material de gravilla para tapado de taladros y poder demostrar una eficiencia mayor de retención de energía del explosivo.

Se recomienda realizar un análisis de filmación de cámara de alta velocidad en la cual se determine el grado de retención del material Stemming (Taco) y de igual manera los tiempos entre filas óptimos para un adecuado movimiento del burden.

Se recomienda realizar un estudio geotécnico para taludes finales y planeamiento en Mina.

## **BIBLIOGRAFÍA**

[1] Fuente: Área de Geología Mina CIA Minaspampa 2012

[2] Fuente: **R. Frank Chiappetta, BSc., MSc., P. Eng**, Explosives Applications Engineer, *Blasting Analysis International, Inc.*

[3] Fuente: Área de Perforación y Voladura CIA Minaspampa 2012

[4] Fuente: Área de Control de equipos CIA Minaspampa 2012

[5] **KONYA, C. J. ALBARRAN E**, 1998 *Diseños de Voladuras*, 1ra Edición, pp30

[6] **EXSA.**, *Manual práctico de voladura*, 2da Edición

[7] **MINING METED USING CONTROL BLASTING** , *Patentent Clifton W. Livingston.*

[8] **CARLOS JORGE ESCOBAR MOLINA**, *Propuesta de mejoramiento de parámetros de perforación y tronadora, mina los colorados*, Ing. Civil en Minas, Universidad de Santiago de Chile.

[9] **BASE DE DATOS DE PERFORACION Y VOLADURA**, CIA Minaspampa SAC

[10] **BASE DE DATOS DE COSTOS Y PRESUPUESTOS**, CIA Minaspampa SAC

[11] **BASE DE DATOS DE CONTROL DE EQUIPOS** CIA Minaspampa SAC

**ANEXOS**

**ANEXO A: Carguío de Taladros CIA Minaspampa**



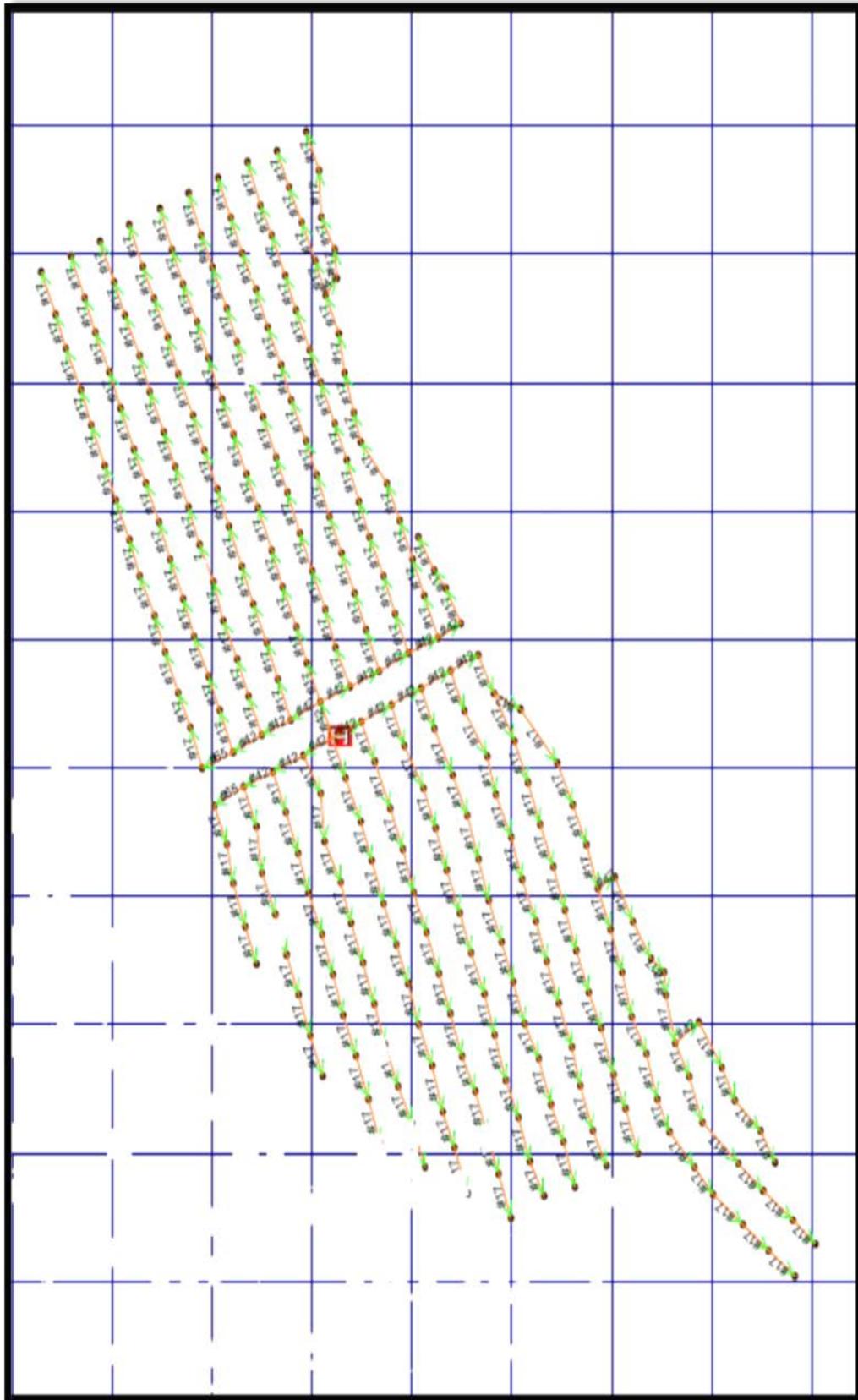
**ANEXO B: Carguío en Decks.**



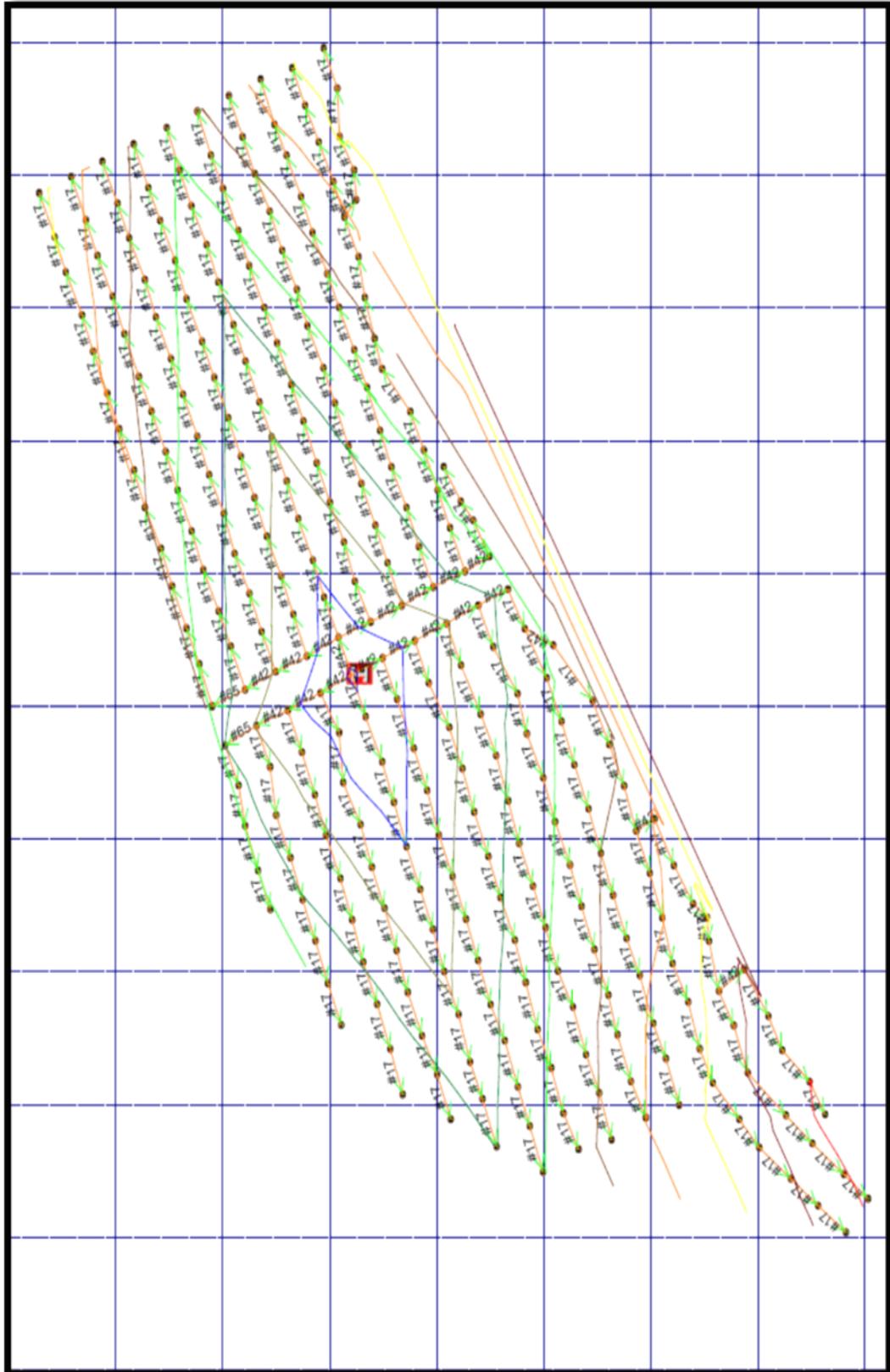
**ANEXO C: Amarre de proyecto de proyecto (decks).**



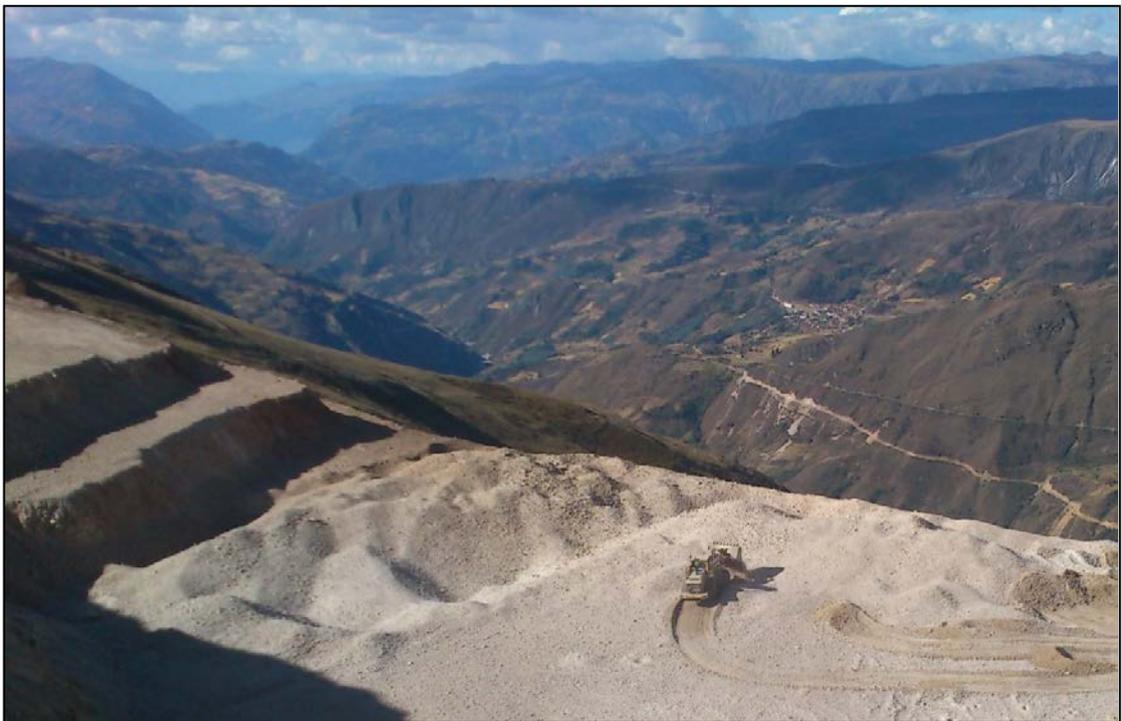
**ANEXO D: Diseño de Amarre Proyecto MI 12- 455**



**ANEXO E: Secuencia de Salida del Proyecto MI 12- 455**



**ANEXO F: Foto de voladura con carga distribuida Deck**



## ANEXO G: Consumo de accesorios de Voladura Noviembre 2012

### PERFORACIÓN Y VOLADURA POR PROYECTO NOVIEMBRE 2012

FECHA	PROYECTO	TONELADAS ROTAS	EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS								FP (kg/t)
			ANFO (kg)	BOOSTER HDPE-1 (und)	FANELDUAL 600/17 ms (und)	CTD 42 ms (und)	CTD 65 ms (Und)	CORDON DETONANTE 5P (m)	MECHA SEGURIDAD (m)	FULMINANTE 8-45mm (Und)	
01/11/12	M12-488	96,212	26,385	413	419	20	10	200	3	2	0.27
02/11/12	M12-486	61,895	14,000	184	184	20	8	-	3	2	0.23
04/05/12	M12-490	40,678	9,793	186	186	15	9	-	3	2	0.24
05/11/12	M12-491	54,919	12,916	268	270	12	6	-	3	2	0.24
07/11/12	M12-483	62,278	15,995	274	277	25	6	100	3	2	0.26
07/11/12	M12-493	88,750	25,000	422	425	30	8	-	-	-	0.28
07/11/12	M12-496	12,725	3,000	54	54	15	2	-	-	-	0.24
08/11/12	M12-494	97,736	17,517	312	312	20	5	-	3	2	0.18
09/11/12	M12-498	65,632	14,000	280	282	15	6	70	3	2	0.21
10/11/12	M12-499	63,076	16,609	250	250	20	5	-	3	2	0.26
10/11/12	M12-501	12,735	2,981	65	64	15	5	-	3	2	0.23
11/11/12	M12-492	63,841	16,326	277	277	20	6	-	3	2	0.26
11/11/12	M12-500	34,178	8,011	156	155	18	7	-	3	2	0.23
12/11/12	M12-503	21,275	5,000	39	38	15	7	-	3	2	0.24
12/11/12	M12-504	50,145	9,795	174	173	10	5	-	3	2	0.20
14/11/12	M12-495	70,932	18,499	304	307	20	9	-	3	2	0.26
14/11/12	M12-506	48,437	10,188	232	232	10	7	-	3	2	0.21
17/11/12	M12-223-A	14,874	3,500	51	49	16	-	300	3	2	0.24
17/11/12	M12-508	35,074	8,172	173	190	19	-	-	-	-	0.23
17/11/12	M12-510	9,508	2,500	62	60	11	-	-	-	-	0.26
17/11/12	M12-511	12,624	3,500	69	67	15	-	-	3	2	0.28
18/11/12	M12-509	79,102	20,790	439	454	40	-	80	3	2	0.26
18/11/12	M12-505	78,886	14,000	228	232	40	-	-	-	-	0.18
18/11/12	M12-515	19,018	4,500	79	77	10	-	-	-	-	0.24
21/11/12	M12-512	33,963	7,562	164	174	15	-	-	-	-	0.22
21/11/12	M12-516	28,146	6,500	129	139	17	-	-	3	2	0.23
21/11/12	M12-514	39,032	8,578	180	178	19	-	-	-	-	0.22
21/11/12	M12-519	11,397	2,658	62	62	-	-	-	3	2	0.23
22/11/12	M12-507	47,703	11,000	180	191	24	-	-	3	2	0.23
22/11/12	M12-513	20,399	5,000	96	96	14	-	-	3	2	0.25
23/11/12	M12-520	36,389	9,800	169	172	25	-	-	-	-	0.27
23/11/12	M12-521	52,064	14,000	274	286	25	-	-	3	2	0.27
25/11/12	M12-525	69,521	15,000	381	390	31	-	-	3	2	0.22
26/11/12	M12-527	20,875	5,000	108	117	20	-	-	3	2	0.24
27/11/12	M12-528	19,156	5,500	109	118	15	-	-	3	2	0.29
29/11/12	M12-526	32,724	8,371	170	179	26	-	-	-	-	0.26
29/11/12	M12-529	40,156	10,000	191	200	13	-	-	-	-	0.25
29/11/12	M12-530	15,149	3,564	92	101	12	-	-	3	2	0.24
30/11/12	M12-524	61,991	14,000	321	334	16	-	-	3	2	0.23
<b>Total</b>		<b>1,723,195</b>	<b>409,510</b>	<b>7,617</b>	<b>7,771</b>	<b>723</b>	<b>111</b>	<b>750</b>	<b>84</b>	<b>56</b>	<b>0.24</b>

Fuente: Área de Perforación y Voladura CIA Minaspampa