

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Geológica**  
**Minera y Metalúrgica**



**Implementación del Empleo de Aceite  
Usado en la Fabricación de Agentes de  
Voladura como el Anfo en Mina Cuajone**

**INFORME DE INGENIERÍA**

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

**HECTOR MANUEL DIAZ VALDIVIA**

**LIMA - PERÚ**  
**2002**

Este trabajo se lo dedico con todo  
cariño a mis hijos Maria Claudia, Jose  
Antonio, mi esposa Florencia y a mis  
padres Angela y Héctor

**IMPLEMENTACION DEL EMPLEO DE ACEITE USADO EN LA  
FABRICACION DE AGENTES DE VOLADURA COMO EL ANFO EN MINA  
CUAJONE**

# INDICE

## INTRODUCCION

### CAPITULO I

#### GENERALIDADES

1. Ubicación y acceso a mina Cuajone
2. Reseña histórica de mina Cuajone
3. Principales rocas existentes en mina Cuajone
  - 3.1. Andesita Basáltica
  - 3.2. Riolita Porfirítica
  - 3.3. Latita Porfirítica
  - 3.4. Brechas post-minerales
4. Mineralización de cobre

### CAPITULO II

#### DESCRIPCION DE PERFORACION Y VOLADURA EN MINA CUAJONE

1. Personal
2. Equipos
  - 2.1. Perforación
  - 2.2. Voladura
  - 2.3. Columna de perforación
3. Información existente
  - 3.1. Características Geomecánicas de la roca
  - 3.2. Modelo Geológico e índice de trabajo
  - 3.3. Modelo de leyes
4. Parámetros de perforación y voladura
  - 4.1. Malla de perforación y factores de carga
  - 4.2. Tipo de explosivos
5. Simulaciones de voladura
  - 5.1. Fragmentación
  - 5.2. Apilamiento
  - 5.3. Control del daño
6. Diseño de la malla de perforación
  - 6.1. Determinación de las coordenadas
  - 6.2. Ubicación de los taladros en el campo

7. Evaluaciones de los disparos
  - 7.1. Registros de los disparos
    - 7.1.1. Reportes
    - 7.1.2. Filmaciones
  - 7.2. Ubicación del área minada
    - 7.2.1. GPS de alta precisión
    - 7.2.2. GPS localización de puntos de carga
    - 7.2.3. Identificación del disparo y número de taladros
  - 7.3. Tiempo efectivo de carguío
  - 7.4. Fragmentación

### **CAPITULO III**

#### **FUNDAMENTO TEORICO**

1. Composición del Anfo
2. Clasificación de los Hidrocarburos del petróleo
3. Aceites lubricantes

### **CAPITULO IV**

#### **PROYECTO PARA LA CONSTRUCCION DE PLANTA DE APROVECHAMIENTO DE ACEITES USADOS EN LA FABRICACION DE ANFO**

1. Introducción
2. Aspectos ambientales
3. Diseño conceptual básico de planta
4. Normas y especificaciones técnicas de la planta
5. Tamaño de planta
6. Localización de la planta
7. Construcción de la planta
8. Implementación del sistema de recolección de los aceites usados
9. Análisis químico de muestras de aceite usado de Cuajone
10. Pruebas de campo
11. Evaluación económica
12. Conclusiones
13. Instalaciones ya existentes en mina Cuajone

## **CAPITULO V**

### **MONITOREOS EN LABORATORIO**

1. Evaluación físico-química de aceite usado de mina Cuajone  
Laboratorio Río Loa, Chile
  - 1.1. Introducción
  - 1.2. Parte experimental
  - 1.3. Resultados
  - 1.4. Conclusiones y recomendaciones

## **CAPITULO VI**

### **MONITOREOS EN CAMPO**

1. Medición de VOD en mina Cuajone
  - 1.1. Introducción
  - 1.2. Características de las mediciones
  - 1.3. Equipos y materiales
  - 1.4. Procedimiento de la fabricación del producto
  - 1.5. Modo de medición
  - 1.6. Resultados de las mediciones
  - 1.7. Conclusiones y recomendaciones
2. Carguío de taladros usando aceite usado
  - 2.1. Descripción del carguío en el campo con camión de explosivos
  - 2.2. Observaciones durante la voladura
3. Rendimiento de equipo de carguío y fragmentación
  - 3.1. Situación inicial
  - 3.2. Evaluación
  - 3.3. Resultados
  - 3.4. Conclusiones

## **CAPITULO VII**

### **ANALISIS ECONOMICO**

## **CAPITULO VIII**

### **CONCLUSIONES**

## **CAPITULO IX**

### **BIBLIOGRAFIA**

## INTRODUCCION

Los objetivos principales del presente trabajo son contribuir a la conservación del medio ambiente y a la reducción de costos, exigencias indispensables en operaciones mineras modernas.

El empleo de los aceites usados en la fabricación de agentes de voladura como el anfo es una manera eficiente de destruir estos residuos altamente contaminantes ya que son sometidos en su proceso de detonación a temperaturas mayores a 1500 grados centígrados.

Los costos de voladura son reducidos ya que se llega a reemplazar un 40% del petróleo diesel N°2 utilizado en la fabricación de anfo por un material residual.

Para la implementación del empleo de estos aceites usados se tuvo un fundamento teórico como es el que los aceites de lubricación son derivados del petróleo, igualmente se hizo un estudio de factibilidad para la construcción de una planta de aprovechamiento de estos materiales residuales.

Dentro de las evaluaciones que se realizaron al anfo fabricado a partir de los aceites usados están: monitoreos en laboratorio como evaluaciones físico-químicas. Monitoreos en campo como medición de velocidad de detonación, evaluación del carguío de taladros con los camiones de explosivos, observaciones durante la voladura, evaluación del rendimiento de los equipos de carguío y de la fragmentación. También se presenta un análisis económico donde se muestra el ahorro por cada taladro de voladura al emplear aceites usados.

En el primer capítulo se hace una descripción de la ubicación de mina Cuajone, accesos, una reseña histórica y la geología.

En el segundo capítulo se muestra el personal y equipos del departamento de perforación y voladura. Igualmente se hace una descripción de los trabajos que se realizan y las modernas herramientas que se utilizan como el sistema "Truck-Dispatch", softwares como el, "Med-System", "Q.E.D.", "Wip-Frag".

Finalmente quiero agradecer a SPCC empresa donde laboro por permitirme realizar estos trabajos de investigación.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1. Ubicación y acceso a mina Cuajone

El yacimiento de Cuajone se encuentra al sur del Perú en el flanco occidental de la Cordillera Occidental de los Andes peruanos, en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, entre 3,150 y 3,850 m.s.n.m. aproximadamente a 42 km. al noreste de la ciudad de Moquegua, el acceso es por una carretera completamente asfaltada.

### UBICACION



### 2. Reseña histórica de mina Cuajone

El conocimiento de la existencia de yacimientos de cobre en la ladera sur de la Quebrada Torata data de fines del siglo XIX en que, por breves referencias en la literatura geográfica, se mencionan ocurrencias de cobre en forma generalizada entre Cuajone y Toquepala, donde delgadas vetas de óxidos de cobre y material enriquecido se explotaron a una escala muy limitada, pero por el difícil acceso, la naturaleza desértica del área y la lejanía de estos lugares se descontinuaron las operaciones minera.

Fue en el año de 1929, después de resolverse el conflicto de límites entre Perú y Chile en que se renovó el interés en estas áreas por los mineros locales, entre los que se encontraba el Sr. Gianella que fue el propietario de los denuncios de la zona de Cuajone.

En el año 1937 el prospecto de Cuajone fue reconocido como un proyecto de yacimiento potencial de Cobre Porfíritico, Schmedeman quien trabajaba en una compañía de exploración realizada por la Cerro de



Pasco Copper Corporation. Posteriormente la misma compañía bajo la opción de compra comienza a perforar taladros exploratorios en el año 1942 y adquiere el denuncio de Cuajone en 1943. Algunos años después en un joint venture Newmont Corporation continúan la exploración con sondeos diamantinos, geofísica con el método de pulso y geoquímica. En 1954 se formó Southern Perú Copper Corporation entre ASARCO, Cerro de Pasco, Newmont y Phelps Dodge, quienes mantuvieron la propiedad hasta el 19 de Diciembre de 1969, después de 18 meses de negociaciones se suscribieron un convenio bilateral con el Gobierno Revolucionario de la Fuerza Armada del Perú para llevar a cabo el proyecto Cuajone.

Entre 1969 y 1970 se realizan tres campañas más de perforaciones diamantinas y se inicia la etapa de construcción, infraestructura y desbroce de material del yacimiento cuprífero de Cuajone con implementación de carreteras, túneles, campamentos, talleres, oficinas, redes de agua y electricidad que finalmente darían a luz el proyecto.

A fines del año 1969 se inicia la etapa de construcción y desbroce de material para preparar la mina. En el año de 1976 se comienza con la producción.

Actualmente Cuajone tiene 26 años de producción. En total se han extraído 1,443 millones de toneladas de material de los cuales 425 millones de mineral se han tratado en la concentradora con una ley promedio de 0.97% de Cu.

Alternativos estudios exploratorios al noroeste y profundidad que se han realizado a partir del año 1982, han permitido ingresar las reservas de mineral. Actualmente se tienen 1,400 millones de toneladas con un ley promedio de 0.64% de Cu y 0.033% de MoS<sub>2</sub> considerando un Cut-Off de 0.40% de Cu.

El cuerpo mineralizado a flora parcialmente en ladera sur de la Quebrada Torata y esta cortada en su parte central de este a oeste por la quebrada Chuntacala que tributa sus aguas a la quebrada Torata, aproximadamente a 4 km. aguas abajo.

La mina Cuajone explota actualmente 280,000 TC de material / día, ubicándose como una de las primeras 10 minas a nivel mundial en cuanto a importancia.

Para poder lograr esta producción se tiene palas con la capacidad de hasta 80 TC y camiones de 240 TC de capacidad. Todo el movimiento del equipo de minado es monitoreado y controlado a través del Truck-Dispatch que permite elaborar automáticamente reportes que detectan inmediatamente lo que esta sucediendo en todo momento.

La concentradora de Cuajone últimamente ha sido ampliada para tratar 96,000 TC de mineral (es una concentradoras más grandes del Perú), su diseño inicial fue para tratar 40,000 TC. Las proyecciones que se tiene para ella es poder ampliarla hasta llegar a una capacidad de 154,000 TC. Todo el proceso esta controlado mediante computadoras.

El yacimiento de Cuajone tiene reservas de 1,400 millones de TC de Minerales con una ley promedio de 0.64 % de Cu y 0.033 % de ley de Molibdeno con un Cut-Off de 0.40 % de ley de Cu. Toda estas reservas considerando el ritmo actual de tratamiento de mineral, le otorgan una vida cercana a los 40 años.

### **3. Principales rocas existentes en mina Cuajone**

#### **3.1. Andesita Basáltica**

Es una roca de color gris verdoso a negra dependiendo del grado de alteración. Presenta una textura que varía de fanerítica holocristalina de grano fino a porfirítica.

No ha podido ser definida su potencia, debido a que ningún taladro diamantino ha logrado atravesarla y superficialmente se constituye en la roca basal de toda la secuencia volcánica. Se estima una potencia superior a los 800 m.

Los fenocristales son subhedrales a euhedrales y están constituidos mayormente por plagioclasas, en menor cantidad por hornablendas las que, mientras más cerca del cuerpo mineralizado están, se encuentran mayormente alteradas a biotitas secundarias. La matriz tiene una textura de grano fino mayormente compuesta por biotita secundaria y opacos. En muchos de los afloramientos se manifiesta un débil magnetismo.

Actualmente se le considera como una serie de flujos andesíticos volcánicos pertenecientes posiblemente a la formación Paralaque pero últimamente está cobrando mayor fuerza la teoría de ser un intrusivo somero perteneciente al Batolito Andino del Sur que en la zona de Arequipa toma el nombre de Batolito de la Caldera.

Cerca de la zona mineralizada se tiene una serie de minerales constituyentes de esta roca como productos de alteración, tal es el caso de la presencia de sílice, biotita secundaria, epidota, cloritas, arcillas, feldespatos potásicos, apatito, leucógeno y opacos; adicionalmente la roca es más grisácea. Todas estas alteraciones crearon en el pasado una serie de confusiones con referencia a la presencia de una andesita intrusiva, pero por estudios, se ha confirmado que esta roca no vienen a ser sino una alteración de la andesita basáltica.

### **3.2. Riolita Porfirítica**

Esta compuesta por un flujo ácido porfirítico con granos de cuarzo de diferentes tamaños, hasta de 2 mm de diámetro, generalmente subredondeados. La matriz es efanítica, densa y dura. La roca es de un color gris claro a blanquesino.

Se correlaciona con la QQ de Toquepala y descansa discordantemente sobre la andesita basáltica con un leve buzamiento hacia el oeste – suroeste.

La potencia de esta roca en las cercanías de Cuajone llega hasta 370 m y en la actualidad se encuentra aflorando principalmente en la ladera sur de la quebrada Chuntacala y en la ladera norte de la quebrada Torata.

### **3.3. Latita Porfirítica**

Se tiene la presencia de un cuerpo intrusivo elongado de latita porfirítica de aproximadamente 2.5 km de largo por 0.7 km de ancho, con una dirección predominante noroeste – sureste. Se encuentra intensamente alterado en su sector sureste, decreciendo dicha alteración hacia el noroeste.

Se le asigna una edad Eocena inferior entre 57 y 52 MA

Principalmente basados en la ocurrencia y cantidad de mineralización y en las alteraciones, se asume que ha habido hasta tres pulsos magmáticos que estarían conformado este cuerpo intrusivo:

El primer pulso magmático está ubicado en el sector sureste del afloramiento de esta roca en lo que actualmente constituye el tajo principal. Esta intrusión habría sido la responsable de la mineralización en Cuajone donde tanto la latita porfirítica como las rocas preminerales que la rodean fueron mineralizados e intensamente alterados.

La latita porfirítica se presenta fuertemente alterada con una textura predominantemente porfirítica con granos de cuarzo que llegan hasta 4 mm de diámetro, subredondeados y rectangulares mayormente alterados en una matriz criptocristalina.

Todo este cuerpo contiene una mineralización de cobre y molibdeno explotable económicamente.

Los contactos litológicos con las rocas que lo rodean son mayormente cercanos a la vertical y principalmente con la andesita basáltica, debido a la alteración, el contacto es gradacional.

El segundo pulso magmático es actualmente conocido como Barren Latite Porphyry (BLP). Se encuentra localizado en dos sectores que muy probablemente se interconectan en profundidad: el primer sector aflora intruyendo en su parte central a primer pulso de latita porfirítica con una forma irregular elongado hacia el noroeste en una longitud aproximada de 300 m de largo por 200 m de ancho. El segundo sector aflora inmediatamente al noroeste del primer pulso en la parte media del afloramiento total de latita porfirítica con una forma ovoide de aproximadamente 850 m de largo por 550 m de ancho, este pulso se encuentra separando el cuerpo mineralizado principal del cuerpo mineralizado perteneciente la extensión noroeste.

Presenta una menor alteración y la mineralización tiene leyes de cobre que actualmente no son explotables económicamente.

El tercer pulso magmático se encuentra ubicado en el sector noroeste del afloramiento de la latita porfirítica en el valle del río Torata y presenta un diámetro aproximado de 800 m. la roca se presenta con una alteración débil, sin mineralización de cobre.

Los granos de cuarzo en algunos casos llegan hasta 2 cm de diámetro, subredondeados a redondeados en una matriz microcristalina a criptocristalina.

### **3.4. Brechas post-minerales**

La intrusión del segundo cuerpo de Latita Porfirítica (BLP) o el segundo pulso magmático de Latita Porfirítica, originó la presencia de cuerpos de brecha bordeando dicha intrusión que están mayormente constituidos por clastos de latitas y andesitas de diferentes tamaños , redondeados, subredondeados angulares y subangulares dependiendo del arrastre que han tenido desde profundidad, envueltos en una matriz de latita porfirítica.

Estas brechas se encuentran mayormente ubicadas en el contacto entre los diferentes pulsos magmáticos de latita porfirítica y en menor proporción aprovechando zonas de debilidad como fallas y fracturas en las cercanías a estos contactos tal y como sucede en el sector sureste del tajo con la Falla Mayor Sur.

Las Brechas han sido clasificadas por su contenido de mineralización en Brechas Mineralizadas cuyas leyes son superiores a 0.40% de Cu, brechas marginales con las leyes que varían entre 0.10 y 0.40 % de Cu y brechas estériles con leyes inferiores a 0.10 % de Cu. La mineralización que se presenta en las brechas está mayormente condicionada a los clastos que generalmente provienen de rocas mineralizadas.

## **4. Mineralización de cobre**

Se ha desarrollado un modelo de la evolución del yacimiento desde las rocas preminerales del Grupo Toquepala de las cuales la andesita basáltica fue una gran receptora de la mineralización de cobre originada por la intrusión de un primer pulso de latita porfirítica. Finalmente el yacimiento fue cubierto por rocas postminerales correspondientes a las

formaciones clásticas y volcánicas Huaylillas y Chuntacala. Esta secuencia de eventos se desarrolla desde fines del Cretáceo hasta el Cuaternario.

La orientación de las estructuras tienen una tendencia generalizada hacia el noroeste. Las fallas Botiflaca y Viña Blanca forman un corredor donde se ha emplazado el yacimiento que tiene una forma elongada en la misma dirección. El predominio de estructuras dentro del tajo tiene también una dirección noroeste.

Las alteraciones hidrotermales están representadas principalmente por una alteración potásica que ha sido intersectada en profundidad por medio de taladros diamantinos y que en la actualidad todavía no aflora en el tajo abierto, una alteración propílica que bordea al yacimiento en un halo de aproximadamente cuatro kilómetros y una alteración retrógrada filica intermedia originada principalmente por soluciones con temperaturas entre 500 y 100° C . Adicionalmente existen alteraciones gradacionales y sobre impuestas en los contactos entre ellas. También se ocurre una alteración supérgena representada por la alteración argílica.

La mineralización del yacimiento es diseminada, regular, homogénea; tiene una mineralogía simple y está relacionada principalmente a la intrusión de latita porfirítica de edad entre 50 y 60 MA de antigüedad.

Abarca una extensión de aproximadamente 2,300 m de longitud por 900 m de ancho, en dirección noroeste – sureste. Presenta un cuerpo de baja ley en el noroeste central de 850 por 550 m y otro cuerpo en el sector sureste central de 300 por 200 m aproximadamente.

En sección vertical, la mineralización tiene una forma de embudo y los valores de leyes decrecen económicamente en el sector noroeste aproximadamente en el Nivel 2950, mientras que en el sector sureste profundizan hasta el Nivel 2580 en donde todavía se tienen taladros con mineralización superior a 0.40 % de Cu.

La distribución de roca mineralizada es la siguiente:

Tipo de roca	Porcentaje %
Andesita Basáltica	51
Latita Porfirítica	47
Riolita Porfirítica	1
Brechas mineralizadas	1

## **CAPITULO II**

### **DESCRIPCIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN MINA CUAJONE**

#### **1. Personal**

El personal del departamento de perforación y voladura de mina Cuajone esta compuesto por un total de 20 personas distribuidas de la siguiente manera:

Jefe del departamento de perforación y voladura

Asistente del jefe de perforación y voladura

Supervisor de campo de voladura

Supervisor de campo de perforación

9 operadores de perforadoras

5 operadores de equipo auxiliar: camiones fábrica, Bobcats, camionetas con explosivos.

2 ayudantes

El sistema de trabajo para la supervisión del departamento y para el personal de voladura es de lunes a sábado de 8 a.m. a 4 p.m. Los disparos solo se efectúan de día y a la hora del refrigerio del personal de operaciones mina que es de 1:00 p.m. a 1:30 p.m.

Los operadores de las perforadoras tienen el sistema de trabajo de operaciones mina que son turnos de 12 horas y 4 días de trabajo por 2 de descanso.

#### **2. Equipos**

##### **2.1. Perforación**

02 perforadoras P & H 120 A con las siguientes características:

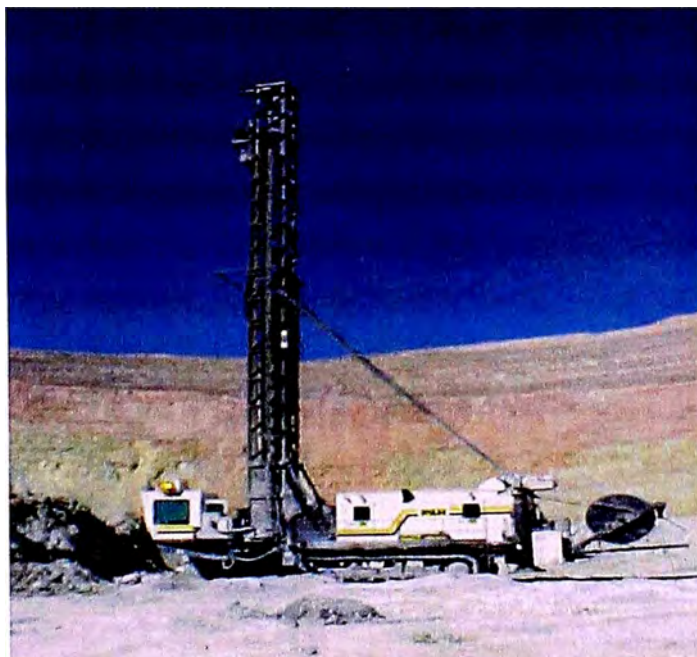
Compresor nominal	:	3600 CFM y 55 psi
Diámetro de broca	:	311 mm ó 12 ¼ pulgadas
Profundidad (single pass)	:	19.8 metros ó 65 pies
Motor principal	:	Eléctrico de 700 HP
Fuerza de empuje	:	68,038 kg ó 150,000 libras
Peso de la máquina	:	165,564 kg ó 365,000 libras





01 perforadoras P & H 100 XP con las siguientes características:

Compresor nominal	:	3600 CFM y 55 psi
Diámetro de broca	:	311 mm ó 12 ¼ pulgadas
Profundidad (single pass)	:	19.8 metros ó 65 pies
Motor principal	:	Eléctrico de 1000 HP
Fuerza de empuje	:	49,940 kg ó 110,000 libras
Peso de la máquina	:	110,200 kg ó 242,945 libras





01 equipo de perforación secundaria " Track-Drill "

Tiene su propio compresor, diámetro de broca 3 ½ pulgadas, profundidad 3 metros ó 10 pies.



## 2.2. Voladura

01 camión fábrica Auger

Marca	:	Ford
Sistema	:	Tread, vaceable
Capacidad	:	12 tm de nitrato de amonio, 5 tm de emulsión y 350 galones de petróleo



### 01 camión fábrica Quadra

Marca : Ford  
Sistema : Tread, bombeable  
Capacidad : 6 tm de nitrato de amonio, 8 tm de emulsión  
y 150 galones de petróleo



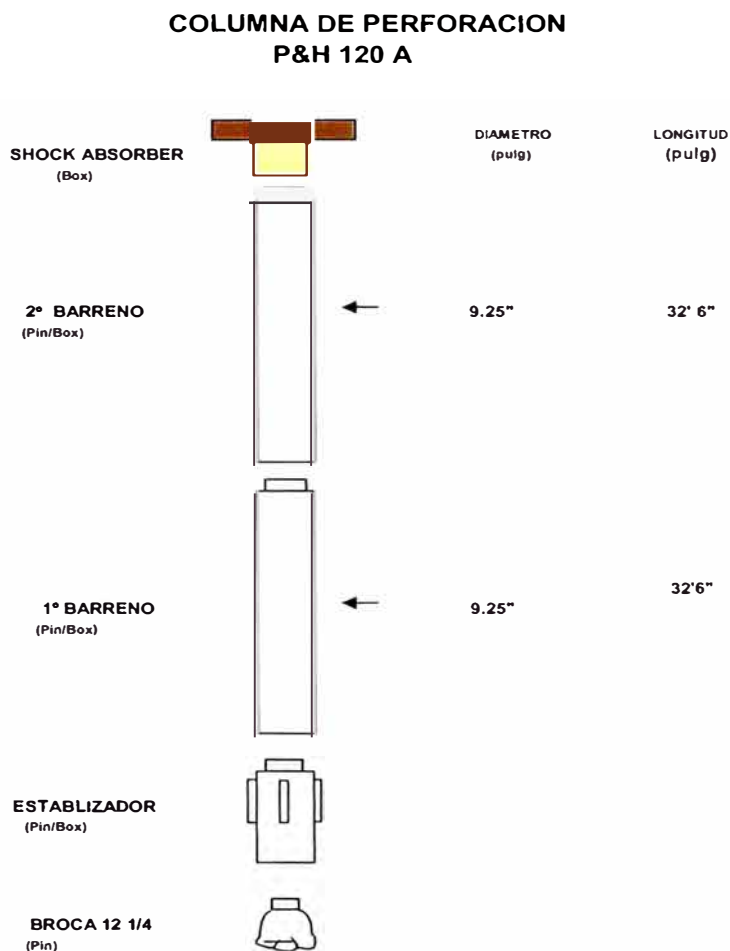
### 02 cargadores Bobcat

El uso que se da a estos pequeños cargadores es para tapar los taladros de voladura.



### 2.3. Columna de perforación

A continuación una descripción gráfica de la columna de perforación utilizada en mina Cuajone.



### 3. Información existente

#### 3.1. Características geomecánicas de la roca

Esta información es preparada por el departamento de geotecnia a través de pruebas de laboratorio donde se envía fragmentos de cada tipo de roca para sus respectivos análisis y así se obtiene datos como resistencia a la compresión uniaxial, resistencia a la tensión, módulo de Young, relación de Poisson, cohesión, etc. Estos datos son usados para el diseño inicial de los parámetros de perforación y voladura, igualmente son usados para las simulaciones de voladura que se hacen utilizando el software "Q.E.D."



**PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO DISTURBADO (VALORES PRINCIPALES)**

Tipo de Roca	Simbolo	RMR <sub>89</sub>	m <sub>i</sub>	σ <sub>c</sub> MPa	σ <sub>T</sub> MPa	E <sub>m</sub> GPa	ν	c MPa	φ (°)
Toba Superior	TS	52	15	36.2	2.7	5.1	0.25	0.231	32.1
Aglomerado Inferior	AI	52	20	5.6	0.9	2	0.25	0.133	21.4
Toba Inferior	TI	52	15	3.1	0.6	1.5	0.25	0.102	16.1
Toba Cristal	TC	58	15	50.5	3.1	8.5	0.25	0.314	39
Traquita	TR	53	16	91.5	7	8.5	0.25	0.344	41.3
Vitrofiro	VT	53	19	9.5	1.2	2.8	0.25	0.159	24.9
Toba Blanca	TB	53	15	6.9	0.9	2.3	0.25	0.135	20.9
Aglomerado Gris	AG	53	20	6.7	1.1	2.3	0.25	0.144	23.1
Andesita Basáltica No alterada	BA	61	17.2	32.7	7.2	8.08	0.25	0.295	38.8
Andesita Basáltica Alterada	BAA	61	17.2	39.3	8.5	8.08	0.25	0.317	40.3
Andesita Basáltica Fracturada	BAF	57	17.2	18	5.4	4.76	0.25	0.213	31.2
Latita Porfírica	LP	63	14.5	55.4	5.5	11.8	0.25	0.388	42.9
Latita Porfírica Esteril	BLP	63	14.5	69.4	7.3	11.8	0.25	0.434	44.7
Riolita Porfírica	RP	61	16	83.2	7.4	12.88	0.25	0.438	45.9

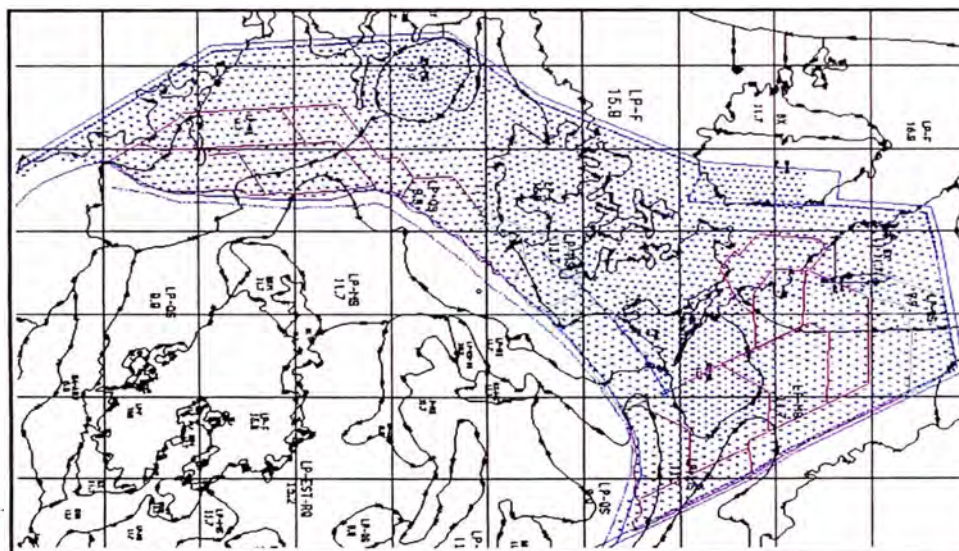
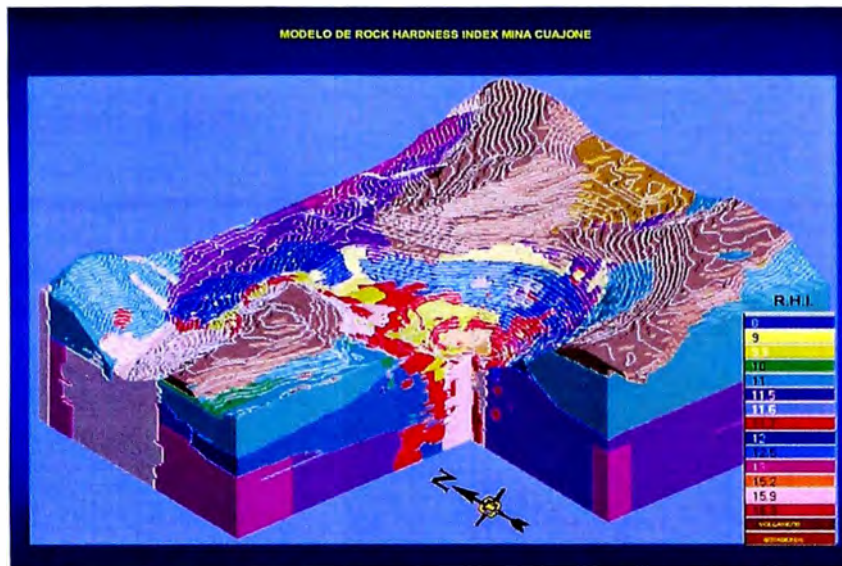
Donde:	RMR <sub>89</sub> = Rock Mass Rating	E <sub>m</sub> = Modulo de Young
	m <sub>i</sub> = Constante para la Roca Intacta	ν = Relación de Poisson
	σ <sub>c</sub> = Resistencia a la Compresión Uniaxial	c = Cohesión
	σ <sub>T</sub> = Resistencia a la Tensión	φ = Angulo de Fricción

**3.2. Modelo Geológico e índice de dureza**

Esta información es preparada por el departamento de geología. El modelo geológico se hace en base a la información de taladros diamantinos, mediante los cuales se determina el tipo de roca por nivel, este modelo es actualizado constantemente mediante mapeos frecuentes y nuevas campañas de perforación diamantina. Igualmente esta información es muy útil para el departamento de perforación y disparos ya que como se tiene el plan de minado por año y por tipo de roca nos permite calcular eficientemente nuestros consumos de materiales como explosivos, accesorios de perforación, etc. Para las zonas de la mina donde no hay mineral solo existe el modelo geológico.

Para las zonas de mineral además del modelo geológico existe el índice de trabajo que es una descripción mas detallada del tipo de roca, se utiliza el índice de Bond, esta información esta asociada a la planta concentradora ya que este índice indica la facilidad o dificultad que tiene planta para tratar los diferentes tipos de roca. Este índice es

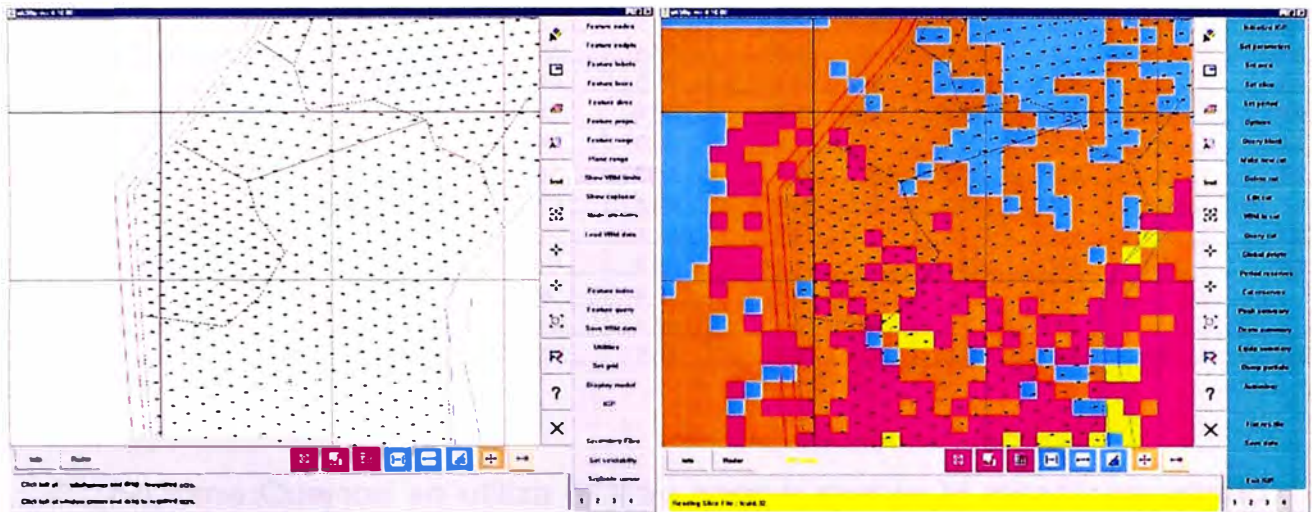
actualizado permanentemente.



### 3.3. Modelo de leyes

Esta información es preparada por el departamento de ingeniería, planeamiento a mediano plazo basándose en información diamantina y por el minado del nivel superior. Se hace el modelo por bloques de 10 metros y por nivel. En algunos tipos de roca como la Latita Porfírica moderadamente silificada se carga los taladros que según el modelo de leyes indica zona de mineral con anfo pesado 37 ( 70% de anfo y 30 % de emulsión) para así tener una mejor fragmentación y generar

mayor cantidad de microfracturas lo que facilita todo el proceso de chancado y molienda. En zonas donde según el modelo no hay presencia de mineral se carga con los parámetros normales que corresponden a anfo.



#### 4. Parámetros de perforación y voladura

##### 4.1. Malla de perforación y factores de carga.

Estos son diseñados por el departamento de perforación y voladura en base a modelos teóricos, fórmulas matemáticas y a la experiencia del trabajo.

Estos parámetros son para cada tipo de roca y son sometidos a evaluación constante como parte del sistema de mejoramiento continuo existente en mina Cuajone. Primero para cualquier modificación se hace una simulación en el software "Q.E.D." para predecir resultados si estos son mejores se realizan en el campo. Esta modificación se evalúa minuciosamente como describiré mas adelante y si los resultados de la prueba son mejores estos parámetros de la prueba vienen a ser los nuevos parámetros oficiales. El tipo de malla de perforación empleada en mina Cuajone es triangular equilátera.



## PARAMETROS DE PERFORACION

Díámetro de Broca = 12 ¼ pulgadas  
Tipo de Malla = Triangular Equilátera

Altura de Banco = 15 metros

Tipo de Roca	Código	Burden (metros)	Espnciamie (metros)	Sub-Drilling (metros)	F.P. kg/m.	Prof. Tal (metros)	Column.caf (metros)	Taco (metros)
Latita Porfírica (WI = 9.9, 11.7, 12.5)	LP	8.66	10.0	1.5	0.30	16.5	6.5	10.0
Latita Porfírica estéril	BLP	6.93	8.0	1.5	0.55	16.5	7.5	9.0
Latita Porfírica silicificada (WI = 16.3)	LP-S	7.79	9.0	1.5	0.43	16.5	7.5	9.0
Latita Porfírica cuarcificada (WI = 15.2)	LP-QZ	7.79	9.0	1.5	0.43	16.5	7.5	9.0
Andesita Basáltica Alterada (zona central, Indc)	BA	9.09	10.5	1.5	0.25	16.5	5.5	11.0
Andesita Basáltica Fresca	BA	7.79	9.0	1.5	0.43	16.5	7.5	9.0
Andesita Intrusiva	IA	8.66	10.0	1.5	0.35	18.5	6.5	10.0
Riolita Porfírica	RP	8.66	10.0	1.5	0.30	16.5	6.5	10.0
Brecha	BX	6.93	8.0	1.5	0.66	16.5	9.0	7.5
Traquita	TR	6.93	8.0	2.0	0.70	17.0	9.5	7.5
Toba Cristal	TC	6.93	8.0	2.0	0.63	17.0	8.5	8.5
Toba Inferior	TI	8.66	10.0	1.5	0.30	16.5	6.5	10.0
Aglomerado Inferior	AI	6.93	8.0	2.0	-	17.0	-	-
Aglomerado gris	AG	6.93	8.0	2.0	-	17.0	-	-
Conglomerado Basal	CB	8.66	10.0	1.5	0.40	16.5	8.8	7.7

### 4.2. Tipos de explosivos

En mina Cuajone se utiliza el anfo normal que es la mezcla de nitrato de amonio en 94 % de peso y petróleo diesel N° 2 en 6 % de peso.

Se utiliza emulsión matriz para la fabricación de anfos pesados, las mezclas usadas son:

- Anfo pesado 37 : 30 % emulsión, 70 % anfo en zonas de mineral
- Anfo pesado 55 : 50 % emulsión, 50 % anfo en brechas
- Anfo pesado 64 : 60 % emulsión, 40 % anfo en zonas de presencia de agua

### 5. Simulaciones de voladura

Para estas simulaciones se utiliza el software "Q.E.D." Este es una excelente herramienta de apoyo a las voladuras, ya que involucra tanto el diseño de los disparos como el análisis de los resultados, simulados mediante modelos matemáticos ampliamente validados en terreno.

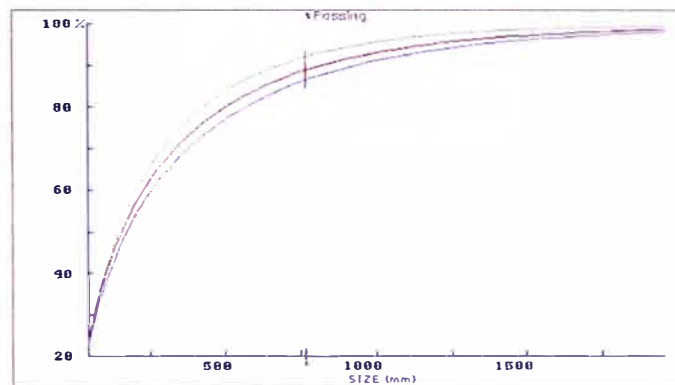
El Q.E.D considera como componentes principales el tipo de roca, la malla de perforación de los taladros, el carguío de explosivos, el taco, el primado, el amarre y la secuencia de detonación. Un factor importante que no considera el Q.E.D. es el efecto generado por los tiempos de retardos entre taladros y filas de una voladura.

## 5.1. Fragmentación

Este es el principal modulo utilizado del Q.E.D. ya que nos permite establecer la distribución del tamaño del material del paño disparado. El modulo de fragmentación requiere tener definido el diseño de la voladura, el carguío de los taladros y las propiedades geomecánicas de la roca. Después la fragmentación real del paño disparado es medido mediante el "Wip-Frag" y comparado con los resultados obtenidos de la simulación.

Este módulo está basado en el modelo Kuz – Ram desarrollado por Cunningham

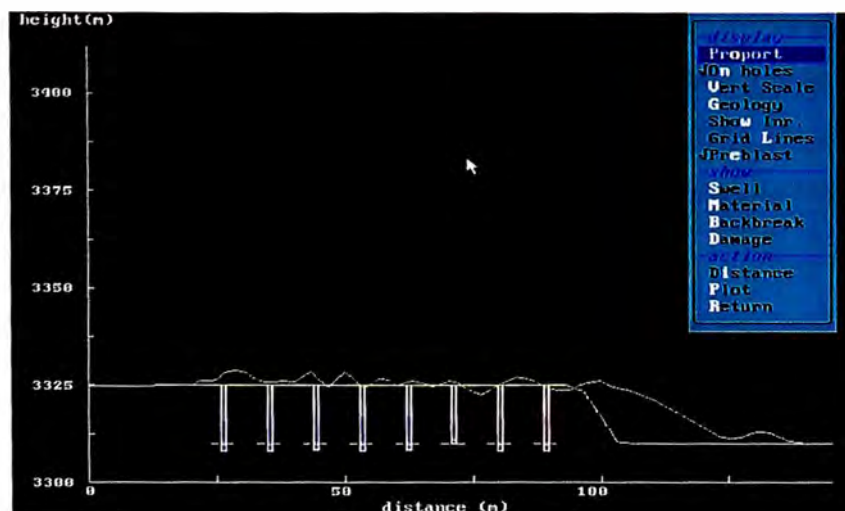
Los resultados son una curva granulométrica donde se da los porcentajes de material que pasa por una determinada malla.



PARAMETER	FG	ZF1	ZF2	ZF3
99 % size ( $d_{99}$ )	2408.29	1643.17	2168.29	2078.19
Mean size ( $d_{50}$ )	174.24	145.39	155.70	156.14
Cur. size	765.8	86.5	92.0	88.6
			88.6	89.0

## 5.2. Apilamiento

Mediante este módulo podemos tener una estimación de la forma en que quedará el material disparado, el esponjamiento, la altura.

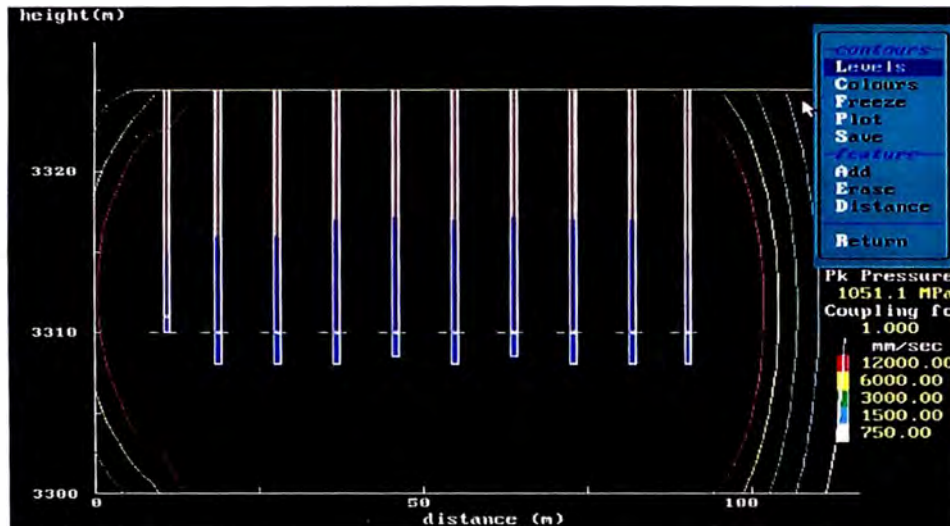




### 5.3. Control del daño

Este módulo nos sirve para determinar la magnitud del daño que estamos provocando en el macizo rocoso adyacente al disparo.

Se basa en el criterio de daño producido por vibraciones de Holmberg y Persson.



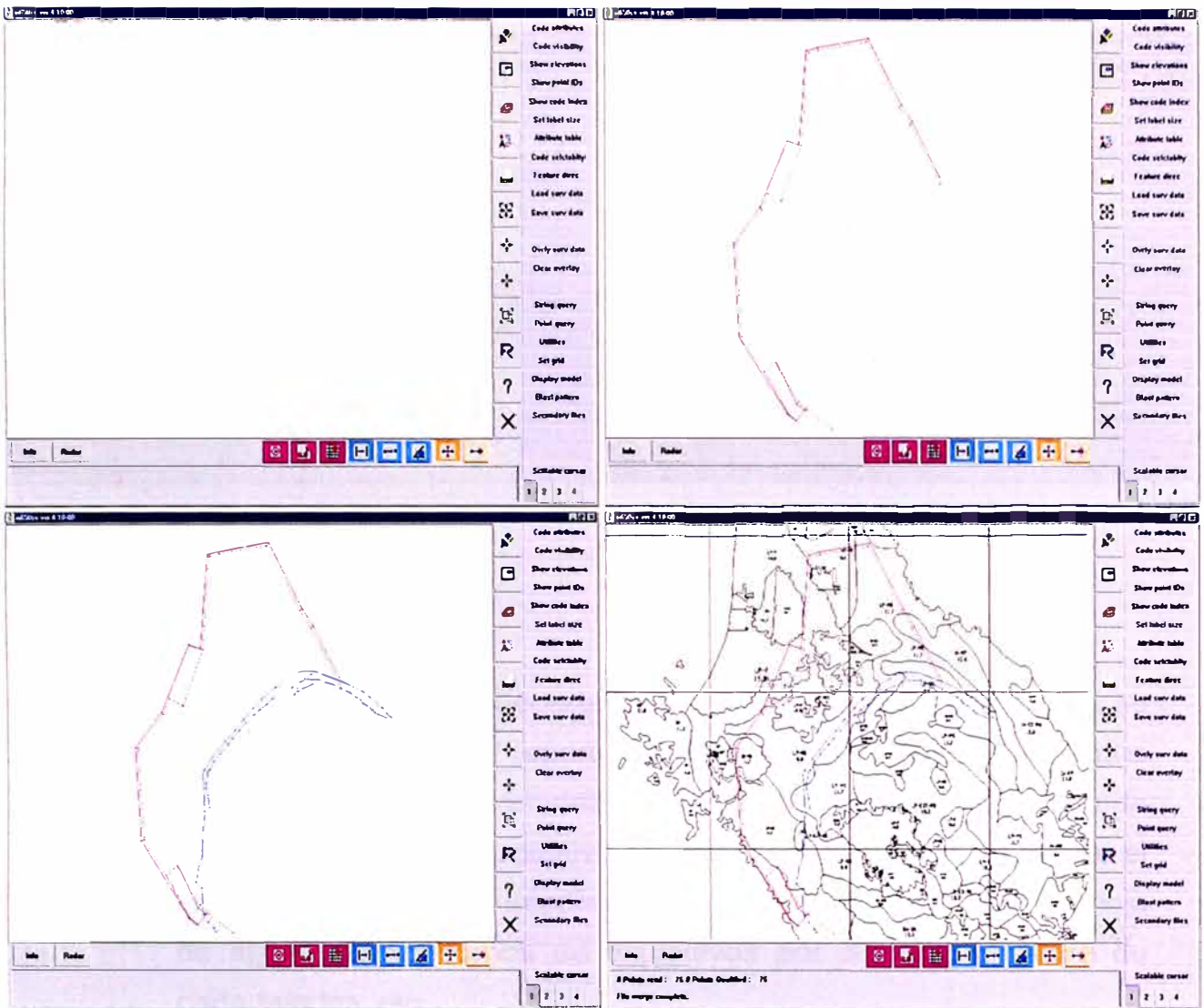
## 6. Diseño de la malla de perforación

Este proceso es efectuado por el departamento de ingeniería, corto plazo.

### 6.1. Determinación de las coordenadas

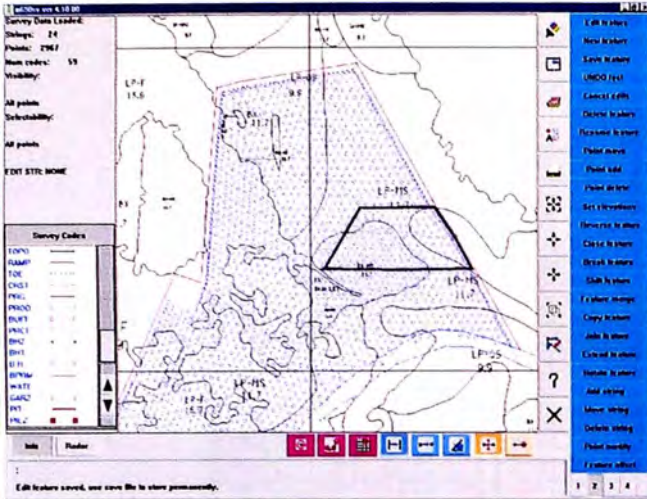
En mina Cuajone se hace el diseño para todo un nivel.

Se hace un levantamiento topográfico de las crestas del nivel utilizando el sistema "GPS-Trimble" , las crestas de diseño son obtenidas del planeamiento a largo plazo empleando el software "Med System" se unen las crestas de diseño con las crestas del nivel, se superpone el modelo geológico ó en zonas de mineral el índice de dureza y se dibuja la malla de perforación para cada tipo de roca según los parámetros de perforación. El software le asigna a cada taladro sus coordenadas y se le indica la altura hasta donde debe llegar cada taladro.



## 6.2. Ubicación de los taladros en el campo

Con el diseño de la malla de perforación de todo el nivel se determina el paño a perforar, se delimita este paño, las coordenadas de este paño y la altura adonde deben llegar los taladros son transferidos a una base de datos en Access, esta base de datos es transferida al sistema de posicionamiento global “Dispatch” este sistema envía vía ondas de radio la información al computador central del “Dispatch” y este a su vez envía la información a la perforadora. La perforadora se conecta vía satelital y empieza a navegar hasta ubicar en el campo las coordenadas de cada uno de los taladros y perfora hasta la altura deseada.



## 7. Evaluaciones de los disparos

### 7.1. Registro de los disparos

#### 7.1.1. Reportes

En mina Cuajone el departamento de perforación y disparos se encarga de tener un reporte de todos los disparos efectuados indicando en este la cantidad de taladros, como fue cargado cada taladro, que tipo de explosivo se usó, el tipo de roca, la fecha, el nivel, el gráfico de la secuencia de amarre, el taco, la presencia de agua, los consumos de explosivos por disparo, la altura de cada taladro, etc



PERFORACION Y DISPAROS  
CUAJONE

# DE DISPARO:	20
P8H-100XP	12
NIVEL	3385
ZONA	Oeste
FECHA DE DISPARO	24-Jan-02
HORA DE DISPARO	1:00 PM
# DE TALADROS	129

DETONADOR NO ELECTRO	258
MONEL DE 500 ms	1
LINEA SILENCIOSA	129
BOOSTER DE 2 Lb.	

CONECTORES DE SUPERFICIE ( RETARDOS )	
# DE RETARDOS DE 17 ms	LT 93
# DE RETARDOS DE 42 ms	LT 18
# DE RETARDOS DE 100 ms	LT 17
# DE RETARDOS DE 300 ms	LT
CONECTORES 0 ms	LT 1

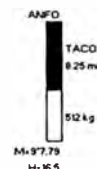
RESUMEN DE EXPLOSIVOS	
Kg. DE ANFO	66433.0
Kg. DE EMULSION	0.0
TOTAL Kg.	66433.0

DIAMETRO DE BROCA	12 1/4	plg
TIPO DE ROCA	LP-F	

MALLA	7.79		
BURDEN (m)			
ESPACIAMIENTO (m)	9		
PROF. PROM. DE TAL (m)	16.6		TOTAL MTS. PERFORADOS
ALT. PROM. DE BANCO (m)	15.1		2147.5
CARGA DE COL. PROM (m)	8.3		1954.0
TACO PROM. (m)	8.3		

OTROS DATOS

AREA	9048.834	m2
VOLUMEN	137065	m3
DENSIDAD DE MAT.	2.63	gr/cc
DENSIDAD DE CARGA	0.48	kg/m3
TONS. MATERIAL	360481.7	tn



OBSERVACIONES:

EVALUACIÓN POST VOLADURA:

FRAGMENTACIÓN	PROYECCIÓN DE ROCAS
BUENA <input type="checkbox"/>	BUENA <input type="checkbox"/>
ACEPTABLE <input type="checkbox"/>	ACEPTABLE <input type="checkbox"/>
MALA <input type="checkbox"/>	MALA <input type="checkbox"/>

APILADO DE MATERIAL
BUENA <input type="checkbox"/>
ACEPTABLE <input type="checkbox"/>
MALA <input type="checkbox"/>

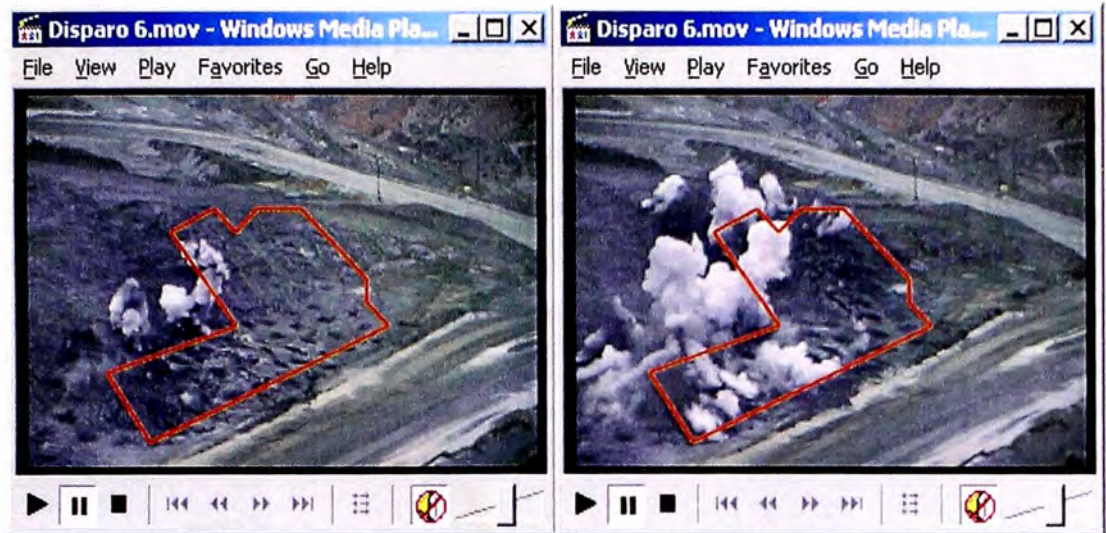
PRESENCIA DE BOLONERIA
BUENA <input type="checkbox"/>
ACEPTABLE <input type="checkbox"/>
MALA <input type="checkbox"/>

EVALUACIÓN GENERAL: \_\_\_\_\_

FIRMA DEL EVALUADOR \_\_\_\_\_





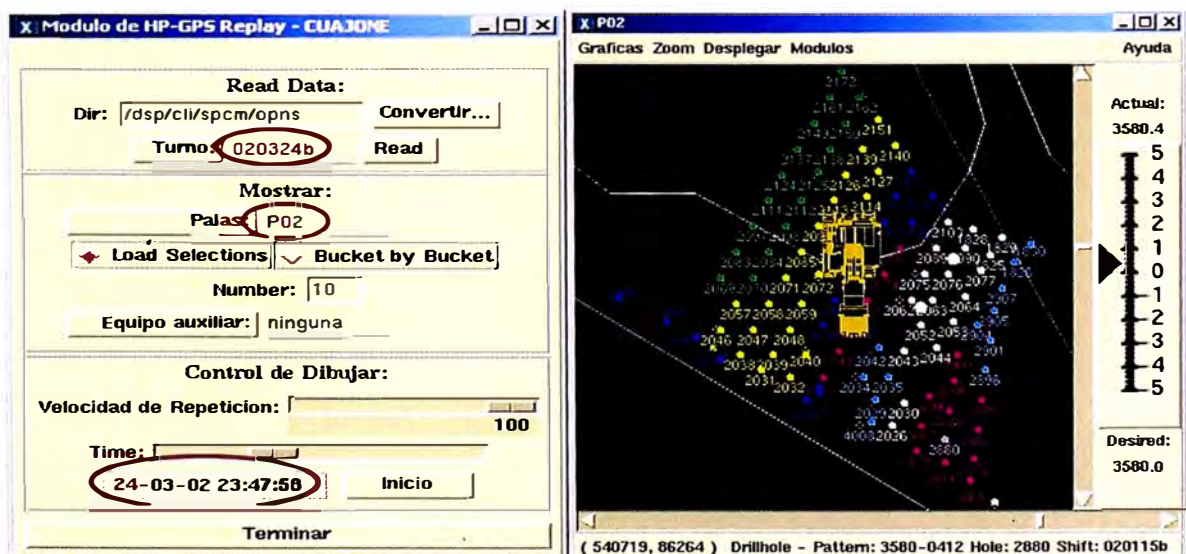


Esta secuencia de video que se muestra corresponde al disparo N° 6 del mes de Marzo. Donde los taladros están dentro del contorno, se tuvo un total de 73 taladros para este disparo. En este video se puede observar que no presenta eyección de taco.

## 7.2. Ubicación del área minada

### 7.2.1. GPS de alta precisión

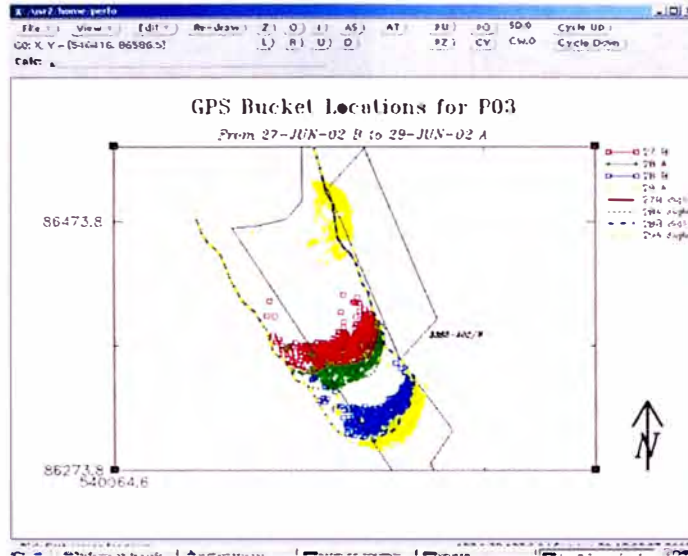
En este módulo del "Dispatch" se puede apreciar como va minando la pala minuto a minuto, indicando el número de taladro minado, el equipo de carguío, las coordenadas de cada punto de carga, esta información se utiliza para saber la hora en que fue minado un taladro ó un área determinada. Con los números de taladros se identifica a que disparo corresponden, como fueron cargados los taladros, su burden y espaciamento.





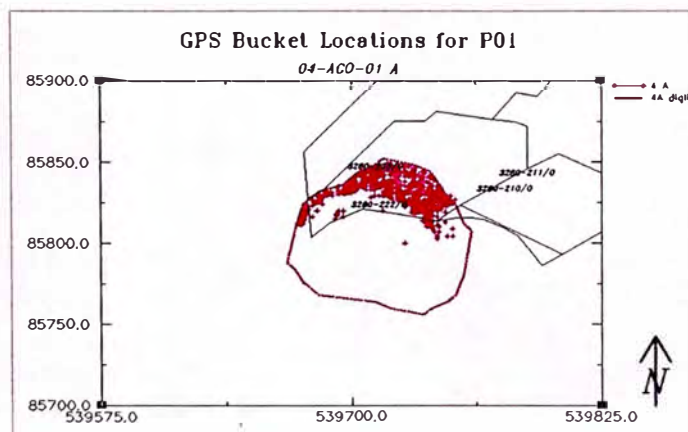
### 7.2.2. GPS Localización de puntos de carga

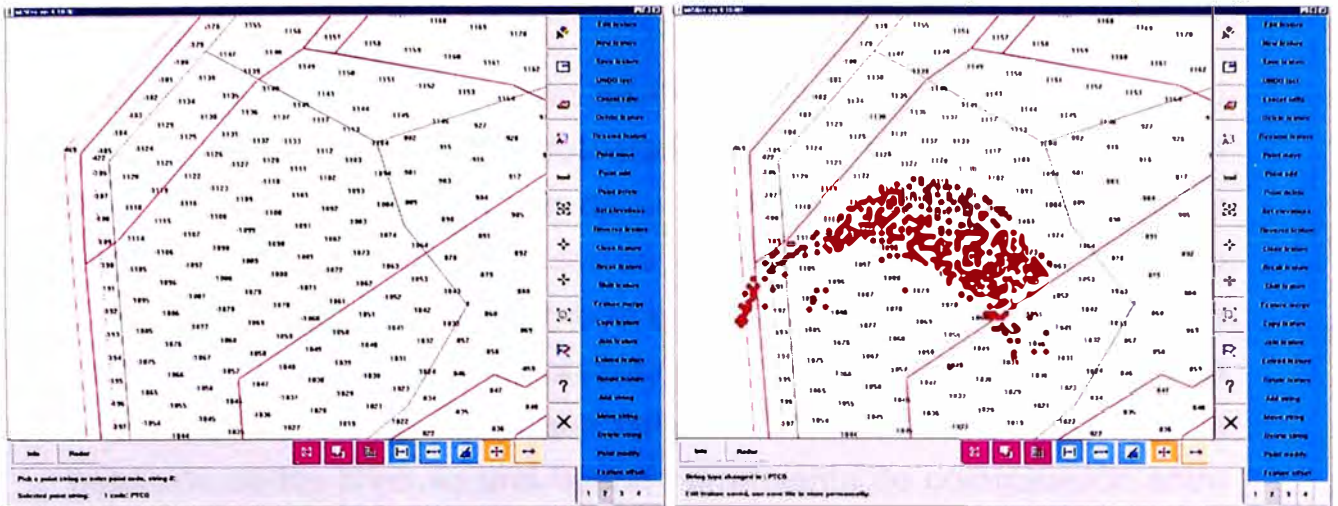
En este módulo del “Dispatch” se registra una nube de puntos que corresponden a las coordenadas de todos los puntos de carga de una pala en una guardia determinada completa de 12 horas, cada guardia se aprecia en la figura de un color diferente.



### 7.2.3. Identificación del disparo y número de taladros

La nube de puntos obtenida del módulo anterior que tiene unas coordenadas definidas se transfiere mediante un archivo txt al software “Med-System” donde se tiene los planos de su nivel correspondiente, en estos planos están registrados todos los taladros perforados con su número respectivo y en que disparo se volaron de esta forma se identifica los parámetros de perforación de un área minada determinada.





### 7.3. Tiempo efectivo de carguío

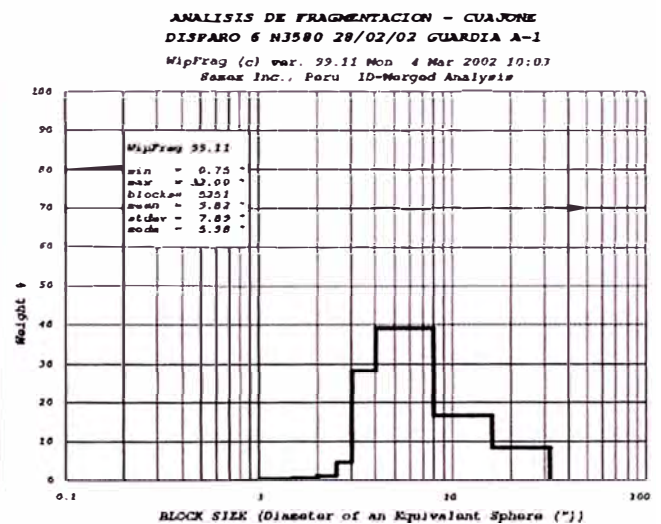
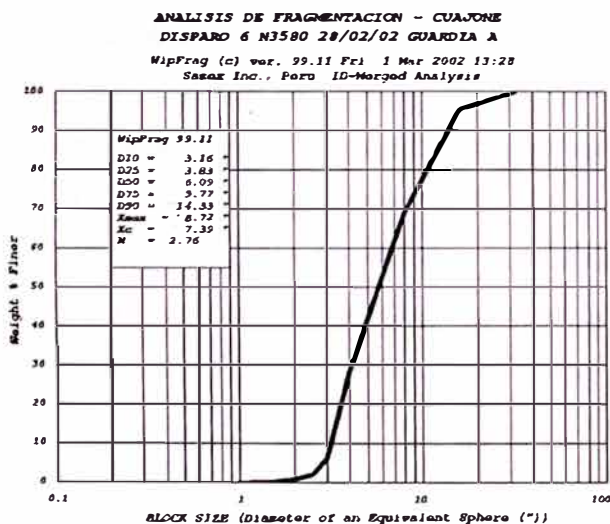
Para la evaluación del rendimiento de un equipo de carguío utilizamos el tiempo efectivo de carguío y no la producción por hora ya que esta depende de factores que perforación y disparos no puede controlar como la prioridad que tiene el equipo de carguío la cantidad de volquetes que se le asigna, la disponibilidad, la utilización.

Para hacer la evaluación de una modificación de algún parámetro de perforación ó voladura se tiene mucho cuidado en tener la mayor cantidad de registros de tiempos efectivos de carguío, y de varias guardias para así sacar un promedio ya que no todos los operadores cargan a la misma velocidad, para emitir un informe final se hace en base a un promedio de por lo menos 500 registros.

X KEYPAD											
Top	Bottom	PageUp	PageDn	Print	Refresh	Remove	Help	Exit	Config	Select	
Reporte de ciclos por Volquete 30-JUN-02 H a las 18:08:27 con Operacion											
Volq.	Pala	LL. Pala	Ini. Carga	Fin Carga	LL. Destino	Destino	Minc. Espera	Minc. Carga	Minc. LLeno	LL. Pala	Minc. Vacio
V363	P02	10:13:06	10:15:05	10:16:29	10:19:43	C-ESTE	1,98	1,40	3,23	10:23:41	2,85
V363	P02	10:23:41	10:27:52	10:28:55	10:32:13	C-ESTE	4,18	1,05	3,30	10:36:18	2,72
V363	P02	10:36:18	10:39:26	10:41:04	10:44:24	C-ESTE	3,13	1,63	3,33	10:52:12	6,50
V363	P02	10:52:12	10:52:12	10:53:44	10:56:23	C-ESTE	0,00	1,53	2,65	11:00:28	2,97
V363	P02	11:00:28	11:02:16	11:03:43	11:07:02	C-ESTE	1,80	1,45	3,32	11:11:06	2,92
V363	P02	11:11:06	11:13:05	11:14:28	11:17:43	C-ESTE	1,98	1,38	3,25	11:21:51	3,05
V363	P02	11:21:51	11:23:56	11:25:27	11:28:44	C-ESTE	2,08	1,52	3,28	11:32:52	3,00
V363	P02	11:32:52	11:45:50	11:47:16	11:50:38	C-ESTE	12,97	1,43	3,37	11:54:43	3,03
V363	P02	11:54:43	11:57:58	11:59:10	12:02:23	C-ESTE	3,25	1,20	3,22	12:11:32	7,80
V363	P02	12:11:32	12:11:35	12:12:39	12:15:51	C-ESTE	0,05	1,07	3,20	12:20:08	3,13
V363	P02	12:20:08	12:21:36	12:22:59	12:26:38	C-ESTE	1,47	1,38	3,65	12:30:41	2,87
V363	P02	12:30:41	12:32:44	12:33:56	12:37:03	C-ESTE	2,05	1,20	3,12	12:41:31	3,37
V363	P02	12:41:31	12:43:29	12:44:47	12:48:22	C-ESTE	1,97	1,30	3,58	12:53:14	3,62
V363	P02	12:53:14	12:54:29	12:55:35	12:58:49	C-ESTE	1,25	1,10	3,23	13:30:43	30,60
V363	P02	13:30:43	13:31:19	13:32:31	13:36:06	C-ESTE	0,60	1,20	3,58	13:40:45	3,35
V363	P02	13:40:45	13:44:33	13:45:41	13:48:55	C-ESTE	3,80	1,13	3,23	13:53:18	3,15
V363	P02	13:53:18	13:55:55	13:56:57	13:57:59	C-ESTE	2,62	1,03	1,03	14:00:57	0,42

## 7.4. Fragmentación

Para evaluar la fragmentación se utiliza el sistema de análisis "Wip Frag" que consiste en sacar fotografías de un frente de minado a una hora determinada, en la zona de análisis se coloca unas regletas de madera graduadas cada 10 cm de color rojo y blanco y de un largo total de 1 metro que sirve como la escala referencial. El resultado que nos da el sistema es del porcentaje de material que pasa por una malla determinada. A pesar que este sistema tiene como limitación la medición de los finos es una buena herramienta de comparación entre diferentes zonas.





## CAPITULO III FUNDAMENTO TEORICO

### 1. Composición del anfo

94.5 % en peso      Nitrato de Amonio    - Oxidante  
5.5 %    en peso      Petróleo Diesel      - Combustible  
 $3\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CH}_2$        $\text{CO}_2 + 3\text{N}_2 + 7\text{H}_2\text{O} + 912 \text{ kcal/kg}$

### 2. Clasificación de los hidrocarburos del petróleo

Hidrocarburos acíclicos saturados ó parafínicos

Fórmula general       $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$

Hidrocarburos cíclicos saturados ó nafténicos

Fórmula general       $\text{C}_n\text{H}_{2n}$

Hidrocarburos cíclicos no saturados ó aromáticos

Fórmula general       $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$

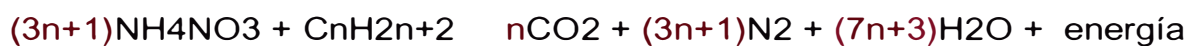
Hidrocarburos acíclicos no saturados ó etilénicos u olefinas

Fórmula general       $\text{C}_n\text{H}_{2n}$

### 3. Aceites lubricantes

Derivados de hidrocarburos parafínicos :

Reacción con anfo



Composición óptima:                      **5.5 %**

Derivados de hidrocarburos nafténicos :

Reacción con anfo



Composición óptima:                      **6 %**

## **CAPITULO IV**

### **PROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PLANTA DE APROVECHAMIENTO DE ACEITES USADOS EN LA FABRICACIÓN DE ANFO**

#### **1. Introducción**

La planta a construirse tiene como principal finalidad el desprenderse en forma eficiente de los aceites usados como aceites lubricantes, de transmisión, hidráulicos, etc. que se desechan en el mantenimiento de los equipos de Mina. Para desprenderse en forma eficiente de estos residuos contaminantes se utilizará estos aceites reciclados en la fabricación de agentes de voladura que se queman a muy alta temperatura en una reacción explosiva.

Estos aceites usados serán mezclados en una relación 50/50 con petróleo diesel N° 2, mezcla que será utilizada en la fabricación del anfo. El presente trabajo se basa en experiencias similares de minas en Estados Unidos, Canadá y Chile. Vale destacar que las ventajas económicas de este proyecto son considerables y es importante mencionar que en Mina Cuajone se cuenta con los principales componentes como son los tanques de recolección y tanque de mezclado ya instalados por lo que la inversión inicial para poner en funcionamiento una planta de este tipo será mínima.

#### **2. Aspectos ambientales**

De acuerdo a las normas actuales sobre medio ambiente se aplica el concepto de que el aceite usado es un material peligroso, sin embargo aun en el Perú no se cuenta con normas que reglamenten específicamente estos materiales y su manipuleo. Actualmente los procedimientos que SPCC mantiene sobre materiales peligrosos son más estrictos y específicos. La recomendación principal es evitar los derrames. De acuerdo a estos procedimientos todos los materiales utilizados para la preparación del anfo o anfo pesado son considerados materiales peligrosos y el reemplazo de petróleo diesel por aceite usado no significa mayor riesgo que el actual. El reemplazo implicará mayor manipuleo en el área con estos materiales, debido a ello se espera acondicionar las

instalaciones en Taller de Locomotoras para reducir el riesgo de derrames, aprovechando la poza antiderrames.

La gerencia de Servicios Ambientales, ha expresado su conformidad con este proyecto, indicando que se reduce el riesgo de derrames por el traslado de los aceites usados desde Cuajone hasta Ilo donde es mezclado con petróleo residual y quemado en la fundición. El ahorro que se conseguirá al reemplazar un volumen de petróleo diesel por uno de aceite usado producirá un beneficio económico para SPCC por la diferencia de precio del petróleo diesel y el petróleo residual.

### **3. Diseño conceptual básico de planta**

El diseño conceptual de una planta de este tipo es muy simple e involucra elementos para recolección, almacenamiento, decantación, filtrado, limpieza y mezclado de los aceites usados y petróleo. Los elementos son los siguientes:

Equipos para recolección y transporte.

Tanques para el almacenamiento de aceites usados, petróleo y mezcla.

Bombas para aceites usados, petróleo, mezcla y pozo de drenaje.

Filtros para aceites usados, petróleo y mezcla.

Medidores de flujo para aceites usados, petróleo y mezcla.

Obras civiles, cañerías, válvulas.

En la figura 1 se muestra un diagrama de flujo básico del proceso de reciclaje y mezclado de los aceites usados con el Petróleo Diesel.

### **4. Normas y especificaciones técnicas de la planta**

Los aceites recolectados de los equipos mineros, antes de ser enviados al tanque colector, previamente deben ser filtrados para eliminar partículas extrañas de gran tamaño (aquellas de 150 micrones o más). Con ello se evitará en particular la presencia de arenillas y partículas metálicas.

No permitir que ingresen al tanque de recolección de los aceites usados, desengrasantes, como antiespumantes o detergentes utilizados en la limpieza de los motores.

La eliminación de agua debe realizarse por separación de fases (decantación simple), aprovechando la inmiscibilidad de ambos líquidos.

El tanque de almacenamiento en la nave de mantención debe tener la salida a una cierta distancia del fondo del tanque, para evitar su obturación por acumulación de sólidos, sirviendo además para drenar agua y lodo.

## 5. Tamaño de planta

Esta en función de la cantidad de aceites usados que se generan mensualmente en Mina Cuajone, del consumo estimado mensual de petróleo y principalmente en el movimiento diario de petróleo utilizado en la fabricación del anfo.

Cantidad de aceites usados generados mensualmente	15,000 galones
Consumo estimado mensual de petróleo	23,000 galones
Movimiento diario de petróleo en la fabricación de anfo	800 galones

### 5.1. Consumos con la planta en funcionamiento

Petróleo diesel (mensual)	:	11,500 galones
Aceites usados (mensual)	:	11,500 galones
Movimiento diario de petróleo	:	400 galones
Movimiento diario de aceite usado	:	400 galones

### 5.2. Capacidad requerida de los tanques de almacenamiento y mezclado

Tanques de almacenamiento	:	3,000 galones
Tanque de mezclado	:	3,500 galones

## 6. Localización de la planta

La planta se ubicará frente a taller de locomotoras en el lugar donde actualmente se ubican los dos tanques de almacenamiento de aceites usados, este lugar es el más adecuado porque en este ya existe un tanque con una capacidad de 3,900 galones que servirá para el mezclado, además se cuenta con una poza de recolección de derrames y esta ubicado en el medio de los otros dos tanques de almacenamiento de aceites usados, el de taller de volquetes y el de concentradora.

## 7. Construcción de la planta

Debe ceñirse a todas las normas legales vigentes así como al Reglamento de Seguridad.

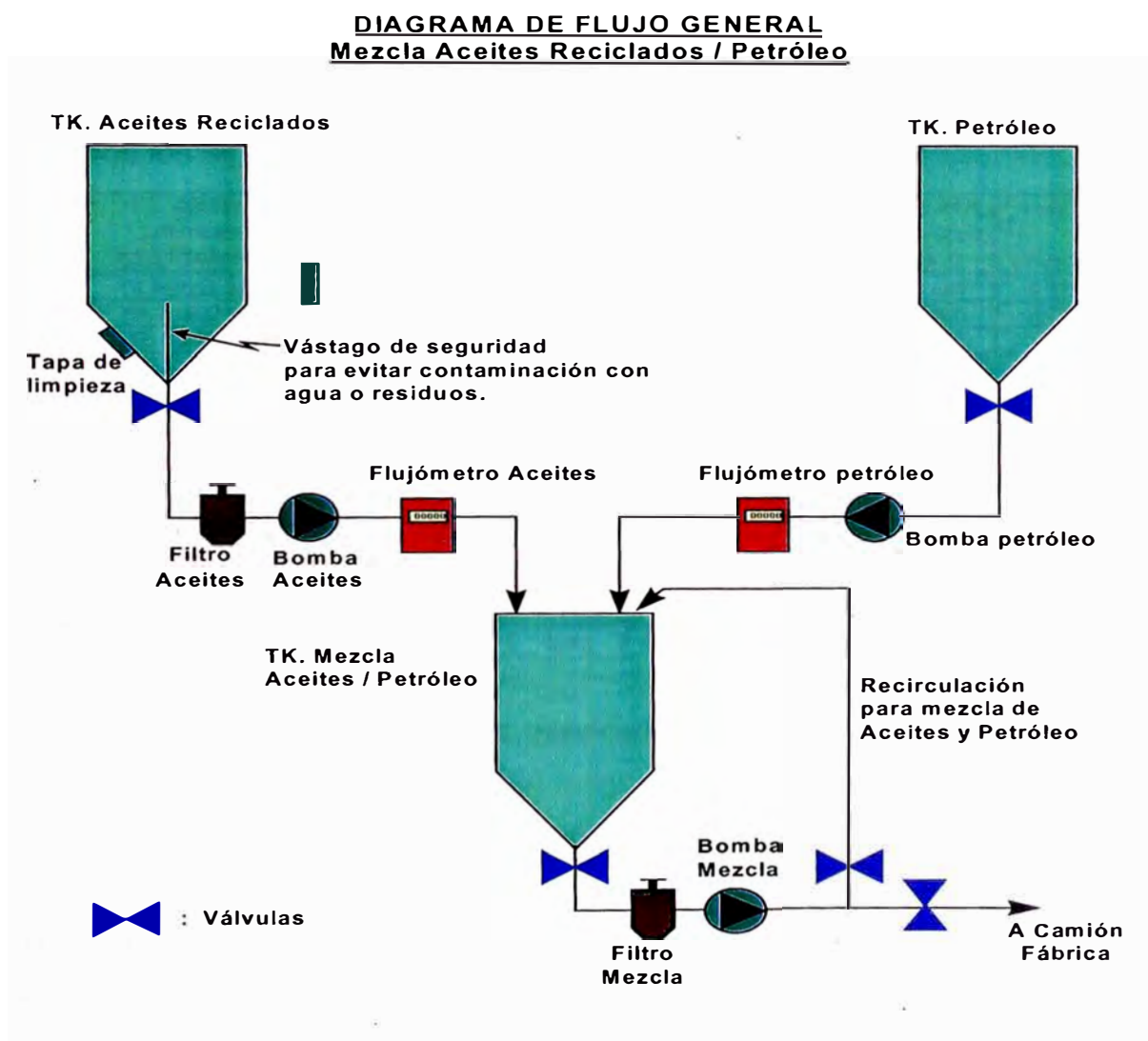
Desde el punto de vista Medioambiental se debe construir un pozo colector de derrames.

Por Seguridad las instalaciones deben contar con un sistema independiente para el control de incendios, así mismo pararrayos y una malla de protección.

Definición de los equipos específicos, dimensionamiento de los tanques, bombas, filtros, medidores de flujo, etc.

Método de control de calidad de los aceites basados en normas específicas.

Figura N° 1



## 8. Implementación del sistema de recolección de los aceites usados

### 8.1. Departamentos Involucrados

Deben trabajar en forma conjunta los departamentos de Disparos, Mantenimiento y Medio Ambiente.

### 8.2. Sistema de recolección de aceites usados

Es muy importante esta etapa del proceso ya que se debe tener un sistema de recolección de calidad y muy eficiente a fin de evitar que los aceites usados se vean alterados por la incorporación de otros elementos extraños, como agua, solventes, sólidos (lodos, arenillas, etc.), suciedad o impurezas de cualquier otro tipo. Cualquiera de estos elementos extraños en una cantidad mayor al mínimo establecido puede causar una disminución en el rendimiento de la carga explosiva.

## 9. Análisis químico de muestra de aceite usado de Cuajone

Se envió muestras de aceite usado de los Tanques de almacenamiento de Cuajone a laboratorio para su análisis químico respectivo siendo los resultados los siguientes:

Número Lab.	ORIGEN ACEITE USADO PROCEDENCIA: CJN	S %	F.P. °C	VISC.Cps. 40° C	Visc. CSt. 40° C	WATER % VOL.	GR. ESP. Densidad 33° C.	Carbón Res %	Cenizas %
4399	TK # 2853 INICIAL	0.276	117.0	90.7	103.25	2.60	0.896	0.929	0.482
4400	TK # 2853 MEDIO	0.270	110.0	90.7	103.37	2.80	0.895	0.771	0.507
4401	TK # 2853 FINAL	0.304	120.0	90.9	103.48	3.10	0.896	1.100	0.479

Características que deben cumplir los aceites usados para su uso en la fabricación de anfo:

ACEITE USADO	F.P. °C	Visc. CSt. 40° C	WATER % VOL.	GR. ESP. Densidad 33° C.	Sólidos > 0.15 mm %	Sólidos < 0.15 mm %	Contenido de metales
Características técnicas	117.0	500 max.	2.50	0.85 - 0.95	0	1 % max	< a 1000 ppm

Como se nota los aceites usados generados en Mina Cuajone si cumplen con los requerimientos mínimos.

Nota: Esta información ha sido proporcionada por el departamento de Medio Ambiente.

## 10. Pruebas de campo

Se realizarán mediciones constantes de la Velocidad de Detonación del anfo para obtener una indicación del rendimiento de los explosivos.

Se hará un seguimiento estricto a los resultados de disparos hechos con aceites usados para evaluar la fragmentación, esponjamiento y facilidad de excavación de la pala del material disparado.

### 11. Evaluación económica

Para la evaluación económica de la "Planta de Aceites Usados" se ha considerado:

#### Costos de Operación por mes

Mano de obra (operación planta de aceites usados)	400 \$
Transporte Aceites Usados (de almacenamiento a mezclado)	400 \$
Mantenimiento (limpieza de filtros, purgado de agua, etc.)	300 \$
Energía (operación de bombas)	200 \$
<hr/>	
Total	1,300 \$
Costo de operación	0.12 (\$/galón)

#### Inversión Inicial

Comprende todo los gastos efectuados para poner en operación la planta de aceites usados.

Se ha considerado una suma de **10,000 \$**

#### Ahorro

Precio Southern de Petróleo Diesel N° 2 puesto en Cuajone  
1.363 \$/galón

Costo de operación aceite usado  
-0.12 \$/galón

Ahorro en petróleo  
1.24 \$/galón

#### Cantidad de aceite usado a utilizarse mensualmente

11,500 galones



## Flujo de caja

Periodo de evaluación

12 meses

Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Inversión	(10,000)											
Ingresos		15,640	15,640	15,640	15,640	15,640	15,640	15,640	15,640	15,640	15,640	15,640
Costos de operación		(1,380)	(1,380)	(1,380)	(1,380)	(1,380)	(1,380)	(1,380)	(1,380)	(1,380)	(1,380)	(1,380)
Flujo de caja	(10,000)	14,260	14,260	14,260	14,260	14,260	14,260	14,260	14,260	14,260	14,260	14,260

Tasa de descuento 1.25 %

VAN	US \$	134,030
TIR	%	143

## 12. Conclusiones

Es un buen aporte a la conservación del medio ambiente ya que elimina de una manera eficiente los aceites usados que son desechos altamente contaminantes.

La disminución en el consumo de Petróleo Diesel N° 2 representa un gran beneficio económico para la compañía.

Es muy importante el compromiso que debe asumir el personal de los talleres de Mantenimiento a fin de tener el mayor cuidado en la recolección de los aceites usados.

## 13. Instalaciones ya existentes en mina Cuajone

### 13.1. Taller de Volquetes:

Se cuenta con un sistema de recolección de aceites usados con sus respectivos filtros y un tanque de almacenamiento con capacidad de 12,000 galones.





### 13.2. Concentradora:

Se cuenta con un sistema de recolección de aceites usados y un tanque de almacenamiento con capacidad de 3,000 galones.



### 13.3. Taller de Locomotoras:

Se cuenta con un sistema de recolección y dos tanques de Almacenamiento, uno de los cuales se utilizará como tanque de Mezclado de los aceites usados y el petróleo diesel N° 2. El grifo de abastecimiento de petróleo de los camiones anfo esta frente a estos tanques.



## **CAPITULO V**

### **MONITOREOS EN LABORATORIO**

#### **1. Evaluación físico-química de aceite usado de mina Cuajone.**

##### **Laboratorio Río Loa, Chile**

##### **1.1. Introducción**

El aceite usado ha sido utilizado desde algún tiempo en la elaboración de anfo en camiones fábrica. Este es usado en minas de Chile, Estados Unidos, Australia, etc. Los beneficios de utilizar aceite usado en anfo radican en la disminución del consumo de petróleo y la eliminación eficiente de una sustancia contaminante producida en la mina.

El departamento I.D.& C.C. recibió 2 muestras de aceite usado, denominado taller de locomotoras y taller de volquetes provenientes de mina Cuajone para un análisis técnico con el fin de evaluar su uso en anfo y anfos pesados.

##### **1.2. Parte experimental**

Para cada aceite, se realizaron las siguientes pruebas:

Se fabricó anfo con la proporción 1:1 petróleo diesel N°2:Aceite usado y se determinó la VOD, por triplicado, en tubos de cartón de 80 cm de largo por 6 pulgadas de diámetro e iniciado con APD 450.

Se fabricarán los anfos pesados 70/30 (70% emulsión matriz/30% de anfo), 50/50 y 30/70 con emulsión matriz y anfo del punto 2.1, se determinaron las VOD de cada uno, por triplicado, en tubos de cartón de 80 cm de largo por 6 pulgadas de diámetro e iniciado con APD 450.

Se determinó la viscosidad, reactividad al aluminio, densidad, temperatura y sólido en suspensión en IDCC, mientras que el agua en laboratorio químico de la planta Río Loa.

Se determinó la viscosidad bajo 0°C.

### 1.3. Resultados

**Tabla 1 Resultados Físico-Químicos**

Propiedad	Resultado		Estándares
	Locomotora	Volquete	
Densidad (g/ml)	0.898	0.882	0.85-0.95 g/ml
Temperatura (°C)	17	18	20
Viscosidad (cp)	415	160	500 cp Máx.
% de agua	0.35	0.35	2.5 % Máx.
% de Sólidos en Susp.	0.002	0.005	Máx. 0.03 %>150u
	0.003	0.03	1 + 0.02%<150u
Reac. C/Aluminio	Sin reacción	Sin reacción	Sin reacción

**Tabla 2 Resultados de VOD**

Producto	Resultados		VOD Estándar mínimo m/s
	Locomotora m/s	Volquete m/s	
ANFO Regular	3562	3689	3000
70/30	3077	3692	3000
50/50	3822	3744	2900
30/70	3883	3751	3200

**Tabla 3 Resultados de Densidad**

Producto	Resultados	
	Locomotora g/ml	Volquete g/ml
ANFO Regular	0.75	0.75
70/30	1.30	1.30
50/50	1.30	1.30
30/70	1.00	1.02

**Tabla 4 Viscosidad a bajas Temperaturas**

Muestra	Temperatura °C	Viscosidad cp
Locomotora	-2	2800
Volquete	-2	325
Petróleo N°2	-2	10

### 1.4. Conclusiones y recomendaciones

Los aceites controlados cumplen con los estándares físico-químicos a temperatura ambiente, pero se debe tener precaución con el bombeo

de el aceite de taller locomotora, debido a su alta viscosidad a bajas temperaturas.

Las velocidades de detonación de los ANFOS y ANFOS pesados preparados cumplen con los mínimos exigidos.

Los aceites recepcionados son alternativa para reemplazar parte del petróleo en la fabricación de ANFO..

#### Recomendaciones

Se debe evitar agregar agua y/o detergentes en los depósitos destinados al almacenamiento y recolección de aceites.

Es aconsejable utilizar sistemas de decantación en los estanques de almacenamiento que permitan minimizar la cantidad de agua. El agua influye en el rendimiento de los explosivos fabricados con aceites usados.

No debe mezclarse junto a parafinas, bencinas u otro tipo de combustibles de bajo punto de inflamación.

Debido a que los aceites son negros debido al residuo carbonoso proveniente de su uso, se recomienda a los operadores de camiones poner énfasis en la limpieza del estanque contenedor de la mezcla de aceites.

No reemplazar más de un 50 % del petróleo diesel N°2 por aceite usado. El aumento de este porcentaje afecta notablemente el balance de oxígeno de la mezcla, trayendo como consecuencia la generación de gases nocivos durante el proceso de detonación.

Estos aceites de desecho están recomendados solo para taladros de voladura de gran diámetro, es decir, mayores o iguales a 6 pulgadas, no está recomendado para el uso en pequeño diámetro.

## **CAPITULO VI**

### **MONITOREOS EN CAMPO**

#### **1. Medición de VOD en Mina Cuajone**

##### **1.1. Introducción**

El presente trabajo se realiza con el objetivo de evaluar la performance del explosivo como base anfo, utilizando aceites usados, en porcentajes diferentes con relación al petróleo Diesel #2; por medio de mediciones de Velocidad de Detonación en taladros de prueba, siendo esta una de las propiedades más representativas de los explosivos.

##### **1.2. Características de la medición**

Se cuenta con un novedoso instrumento, el **MicroTrap VOD Data**, para medición de Velocidad de Detonación Continuo en taladros; el mismo cuenta con un canal con capacidad de medir en uno o varios pozos ya que trabaja con resistencia entre 50 a 3000 ohmios. El Método Continuo nos permite monitorear la velocidad de detonación en forma continua a lo largo de la columna de explosivo. Ello hará posible evaluar los efectos del iniciador, los efectos de material contaminante dentro del explosivo (agua, atacado, etc), la propagación de la detonación, etc. Es decir, el método continuo nos proporcionará una información más detallada de lo que sucede dentro del taladro.

##### **1.3. Equipos y materiales utilizados para las mediciones**

Monitor MicroTrap

Probeta con Cable Resistivo de 11.5 Ohm/m.

Cable coaxial R-58

##### **1.4. Procedimiento de la fabricación del producto**

Se inicia la preparación del anfo, homogenizando la mezcla de ALR/OIL en porcentajes diferentes 20 y 40% respectivamente en recipientes de cilíndricos.

Teniendo como recipiente adecuado una cubeta 500 Kg. de capacidad, se realiza la mezcla manualmente con paletas de madera, Nitrato de Amonio + Combustible.

Una vez homogenizada la mezcla se procede al modo de medición, como se indica en el punto N°5



## 1.5. Modo de medición

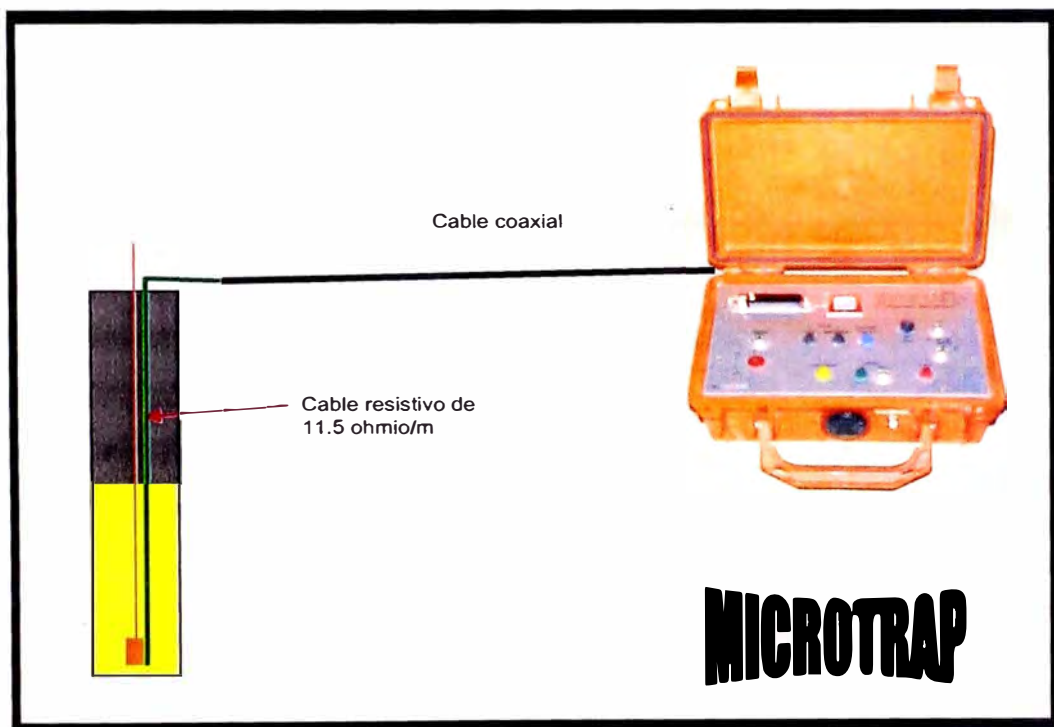
Se inicia programando el Software con los datos de la medición.

Se prepara la probeta con el cable resistivo, uniendo el extremo cortocircuitado o soldado, de la probeta al iniciador.

Se introduce el iniciador adherido al extremo de la probeta dentro del taladro, se procede al carguío tratando de que la probeta quede en el centro del explosivo.

Se instala el equipo MicroTrap VOD en terreno, uniendo este y la probeta con cable coaxial N° 58

Se prende el equipo y se deja iniciado a la espera del trigger para iniciar la medición.



## 1.6. Resultados de las mediciones

### 1.6.1. Medición en anfo con petróleo al 6%

Fecha	:	07/08/01
Nivel	:	3400
N° de disparo	:	5
N° de taladro	:	890
Tipo de roca	:	LP-F (15.9)
Diámetro de taladro	:	12 ¼ pulg.

Altura de taladro	: 16.5 mts
Taco	: 7 mts
Columna de carga	: 9.5 mts
Tipo de explosivo	: anfo
Iniciador	: 1 booster de 2 Lbs
Ubicación del iniciador	: 1.5 mt del fondo del taladro
Tiempo nominal de salida	: 1,000 ms
Peso de anfo	: 598.5 kg
Peso de nitrato	: 562.6 kg
Peso de petróleo	: 35.91 kg (11.2 gl )

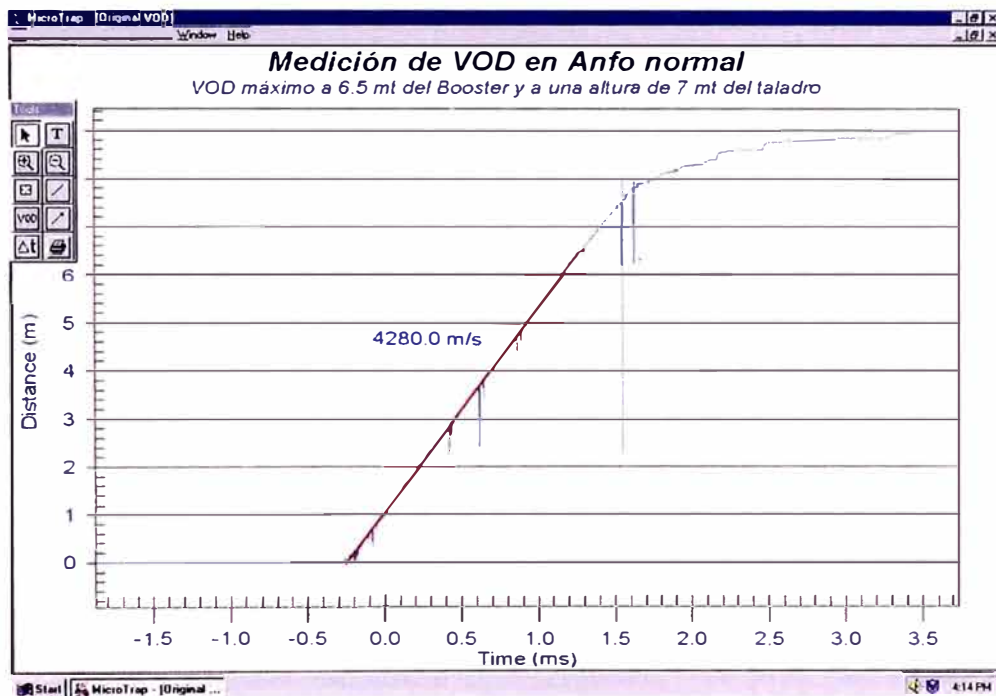


Fig. N° 1 Máximo valor de VOD a 6.5 mt del Booster

### 1.6.2. Medición en anfo con aceite usado al 20% (20/80)

Fecha	: 09/08/01
Nivel	: 3280
N° de disparo	: 7
N° de taladro	: 1369
Tipo de roca	: LP-F (15.9)
Diámetro de taladro	: 12 ¼ pulg
Altura de taladro	: 16 mts

Taco	: 7.5 mts
Columna de carga	: 8.5 mts
Tipo de explosivo	: anfo
Iniciador	: 1 booster de 2 Lbs
Ubicación del iniciador	: 1.5 mt del fondo del taladro
Tiempo nominal de salida	: 1,000 ms
Peso de anfo	: 535.5 kg
Peso de nitrato	: 503.4 kg
Peso de aceite usado	: 6.4 kg (2 gl )
Peso de petróleo	: 25.7 kg (8 gl )

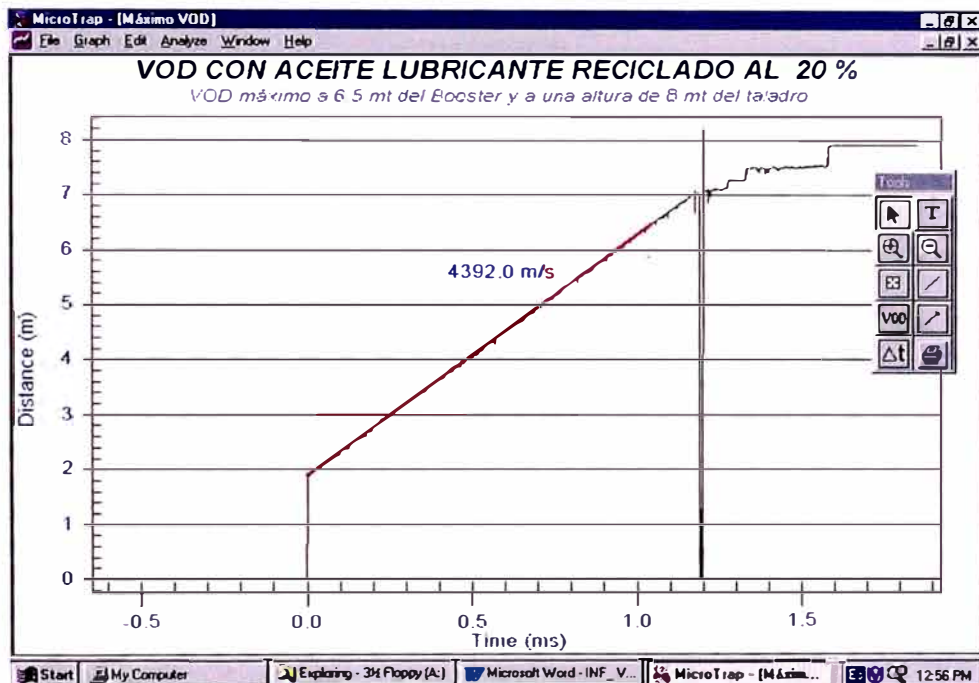


Fig. N° 2 Máximo valor de VOD a 6.5 mt del Booster

### 1.6.3. Medición en anfo con aceite usado al 40% (40/60)

Fecha	: 11/08/01
Nivel	: 3415
N° de disparo	: 8
N° de taladro	: 4394
Tipo de roca	: IA ( 9 )
Diámetro de taladro	: 12 ¼ pulg
Altura de taladro	: 18 mts

Taco	: 11 mts
Columna de carga	: 7 mts
Tipo de explosivo	: Anfo
Iniciador	: 1 booster de 2 Lbs
Ubicación del iniciador	: 1.5 mt del fondo del taladro
Tiempo nominal de salida	: 1,000 ms
Peso de anfo	: 441 kg
Peso de nitrato	: 414.5 kg
Peso de aceite usado	: 10.6 kg (3.3 gl )
Peso de petróleo	: 15.9 kg (4.9 gl )

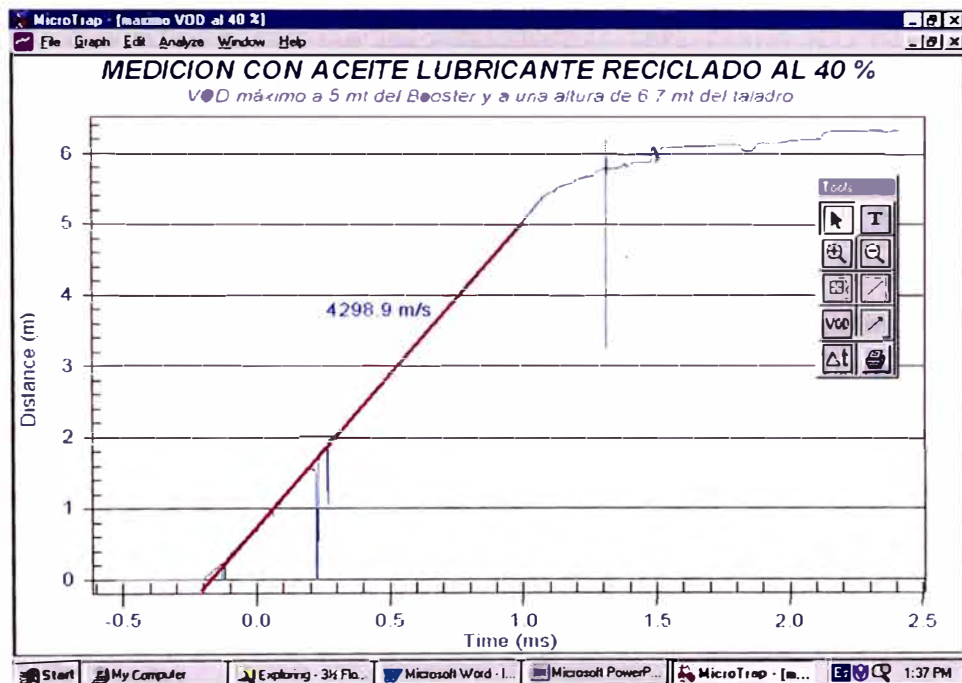


Fig. N° 3 Máximo valor de VOD a 5 mt del Booster

### 1.7. Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con las mediciones, se observa una Velocidad de Detonación para el anfo al 6% de petróleo del orden: 4,280 m/seg.; para el anfo al 20% de aceite usado de 4,392 m/seg y para el ANFO al 40% de aceite usado de 4,299 m/seg, para un diámetro de 12 ¼ pulg. En los gráficos adjunto, también se puede observar, que en la parte inicial de las columnas explosivas a 1.5 mt del booster, se obtienen

unos picos de velocidades del orden de los 4200 m/seg, esto debido a la incidencia del iniciador.

Las caídas bruscas de las velocidades en algunos casos después de los 1.5 mt es debido a la posibilidad de contaminación del explosivo al momento de cargar el taladro considerando que se realizó manualmente, lo que se evitaría realizándolo con los camiones fábrica. Vistos los resultados podemos concluir que la performance de los productos explosivos base ANFO utilizando aceites usados, se encuentran dentro de los rangos normales comparados con el resultado del anfo con petróleo al 6%.

Debido a los resultados obtenidos la capacidad de adsorción / retención de dichas mezclas en porcentajes diferentes por los prills de nitrato de amonio ha sido satisfactoria, debiendo de señalar que todas las pruebas se realizaron con nitrato Enaex.

Hasta el momento solo se realizaron pruebas al 20 y al 40% de aceites usados, quedando pendiente realizar al 30 y 50%, con la finalidad de realizar comparaciones que nos permitan elegir el porcentaje más óptimo en VOD.

Si bien los resultados obtenidos fueron satisfactorios debemos tener muy en cuenta la pureza de los aceites usados, esto para evitar en el futuro daños en el sistema de carguío de los camiones fábrica, debido a impurezas ó sustancias surfactantes (detergentes, desengrasantes en general).

## **2. Carguío de taladros usando aceite usado**

El presente trabajo se realizó para continuar con el proyecto de "Aprovechamiento del aceite usado en la fabricación de anfo" y así poder evaluar la fragmentación y el rendimiento del equipo de carguío en la zona correspondiente a los taladros cargados con aceite usado.

### **2.1. Descripción del carguío de taladros de voladura con camión de explosivos:**

Fecha	: 10 de diciembre 2001.
Nivel	: 3385 zona Nor-Oeste.
Disparo	: 10 (12 de diciembre).
Número de taladros	: se cargó un total de 26 taladros.



Camión de explosivos : Quadra.  
 Operador : Juan Peñaranda Quintanilla  
 Procedencia del aceite Usado : Taller de locomotoras  
 Porcentajes de mezcla : Petróleo 56.7 % - Aceite usado 43.3 %  
 Manómetros de presión camión : Para 1300 rpm (normal), 900 psi-1100 psi (normal)  
 Presión de bomba de petróleo : 80-85 psi (normal)  
 Densidad lineal del anfo : 27 revoluciones por metro, no hubo variación con respecto al uso del 100 % de petróleo

El tiempo de carguío fue similar al de carguío empleando 100 % de petróleo.

## 2.2. Observaciones durante la voladura

La reacción del nitrato de amonio con la mezcla de petróleo y aceite usado fue buena ya que no hubo presencia de humos naranjas.

El esponjamiento de la zona de taladros con aceite usado fue bueno igual que la zona de taladros con 100 % de petróleo.

## 3. Rendimiento de equipo de carguío y fragmentación

El presente trabajo es la evaluación final del uso de aceite usado en la fabricación de anfo.

Tipo de material : Latita Porfirítica Fresca (LP-F) W.I. 15.9  
 Pala : P & H 4100 A  
 Explosivo : ANFO  
 Disparo : N° 10 12-Dec-01

### 3.1. Situación Inicial

	NIVEL	MALLA mts	Factor de Carga	Diámetro de broca	OBSERVACIONES
SITUACION INICIAL	3385	9*7.79	Estándar Anfo 0.48	311 mm	No hubo presencia de agua, se cargó todos los taladros con anfo.

### 3.2. Evaluación (Uso de aceite usado en la fabricación de anfo)

	NIVEL	MALLA mts	Factor de Carga	Diámetro de broca	OBSERVACIONES
EVALUACION TEORICA	3385	9*7.79	Estándar Anfo 0.48	311 mm	Se reemplazó un 43.3 % de petróleo por aceite usado en la fabricación de anfo,

### 3.3. Resultados

	TIEMPOS DE CARGUO				FRAGMENTACION MEDIDA CON WIP-FRAG				
	Fecha de Carguio	T carguio Dresser ( seg )	T carguio Cat (seg)	Factor de carga ( kg/m3 )	D < 10% mm	D < 25% mm	D < 50% mm	D < 75% mm	D < 90% mm
S.inicial nivel 3385	2 A,2 B,3 A,3 B ene-02	74	75	0.485	71	88	129	201	318
PRUEBA nivel 3385	2 A,2 B, 3 A ene-02	74	76	0.477	69	86	120	187	322

### 3.4. Conclusiones

Se encontró que no hay variación en los tiempos efectivos de carguio en el área donde se cargó los taladros con aceite usado.

La fragmentación del área donde se cargó los 26 taladros con aceite usado no tiene ninguna variación con respecto a otras áreas donde se cargó normalmente usando 100 % de petróleo en la fabricación de anfo.

Se hizo el seguimiento a la pala cuando minaba el área de prueba y no se notó nada fuera de lo normal.

Se escogió la zona de la prueba porque corresponde a un solo tipo de roca, Latita Porfírica Fresca con un R.H.I. de 15.9 lo que la hace una de las mas duras de la mina, además esta zona no es mineral.

## CAPITULO VII

### ANÁLISIS ECONOMICO DE LA PRUEBA

Los costos correspondientes a un taladro de voladura cargado con anfo:

Utilizando 100 % de petróleo en la fabricación de anfo

Factor de carga	=	0.48	(Kg/M3)
Anfo	=	504.90	(Kg)
Costo N. de Amonio	=	117.12	(U.S. \$)
Costo de petróleo	=	12.71	(U.S. \$)
Total	=	129.83	(U.S. \$)

Utilizando 56.7 % de petróleo y 43.3 % de aceite usado en la fabricación de anfo:

Factor de carga	=	0.48	(Kg/M3)
Anfo	=	504.90	(Kg)
Costo N. de Amonio	=	117.12	(U.S. \$)
Costo de petróleo	=	7.21	(U.S. \$)
Total	=	124.33	(U.S. \$)

**El ahorro por cada taladro de voladura es de: 5.5 (U.S.\$)**

## **CAPITULO VIII**

### **CONCLUSIONES**

1. Es un buen aporte a la conservación del medio ambiente ya que elimina eficientemente el aceite usado desecho altamente contaminante.
2. El uso del aceite usado representa un gran beneficio económico ya que disminuye el consumo de petróleo diesel N° 2.
3. En mina Cuajone ya se tiene gran parte de las instalaciones necesarias para el uso del aceite usado en la fabricación de anfo.
4. Los resultados de la medición de velocidad de detonación para el anfo fabricado con aceite usado se encuentran dentro de los rangos normales comparados con el resultado del anfo con 100 % de petróleo.
5. Los resultados de la evaluación físico-químico de los aceites usados hechos en el laboratorio de Río Loa Chile nos indican que sí son una alternativa para reemplazar parte del petróleo en la fabricación del petróleo.
6. El carguío de los taladros con el camión de explosivos usando aceite usado se realizó en forma normal no observándose ningún problema ni demora adicional.
7. La fragmentación y el rendimiento del equipo de carguío en la zona cargada con aceite usado fue buena no observándose ninguna diferencia con respecto a zonas cargadas con anfo fabricado con 100 % de petróleo.

## **CAPITULO IX**

### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **1. Tercer coloquio de tronadura en minería a cielo abierto**

Iquique, mayo 2001

#### **2. Technology news**

Waste oil used with Anfo for blasting

Rio Tinto's Hamersley, Iron Mine