

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA,  
MINERA Y METALURGICA



**"El Anfo y su Aplicación en la Mina  
Subterranea San Rafael  
MINSUR S.A."**

**INFORME DE INGENIERIA**

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

**Juan Lizana Huaira**  
Promoción 1988

Lima - Perú  
1996

## INDICE

PROLOGO	5
1.0. UBICACION Y ACCESO	1
1.1. UBICACION	1
1.2. ACCESIBILIDAD	1
1.3. ACTIVIDAD MINERA	2
2.0. GEOLOGIA DEL YACIMIENTO	3
2.1. GEOLOGIA.-	3
2.2. DEPOSITO MINERALES	3
2.3. AFLORAMIENTO	4
2.4. SANEAMIENTO MINERALOGICO	4
2.5. BOLZONADA O CUERPOS MINERALIZADOS	4
2.6. MINERALOGIA	5
2.7. SECUENCIA DE LA MINERALIZACION	6
2.8. CONTROLES DE LA MINERALIZACION	7
2.9. ALTERACION HIDROTERMAL	8
2.10. RESERVAS MINERALES AL 31 DE DICIEMBRE DE 1995.-	9
3.0. EL ANFO Y SUS CARACTERISTICAS	11
3.1. HISTORIA	11
3.2. PROPIEDADES FISICO-QUIMICOS	
3.2.1.. Composición Química y Obtención	12

3.2.2.	Balance de Oxígeno	13
3.2.3.	Volumen de Gases durante la Explosión	15
3.2.4.	Forma y Tamaño	16
3.2.5.	Contenido de Sustancias Inertes	17
3.2.6.	Contenido de Agua y Densidad	17
3.2.7.	Calor de Explosión y Temperatura	19
3.2.8.	Energía y Presión	
3.2.9.	Sensibilidad	24
3.2.10.	Velocidad de Detonación	25
4.0.	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DEL ANFO	28
4.1	PROPIEDADES FISICAS DEL NITRATO DE AMONIO	28
4.2.	FACTORES DE CAMPO	29
4.2.1.	Confinamiento y Atacado	29
4.2.2.	Diámetro del Taladro.	30
4.2.3.	Mezclado	30
4.2.4.	Iniciado	33
4.3	PROPIEDADES DEL TERRENO	36
4.3.1.	Velocidad de Propagación de Energía	36
4.3.2.	Estructura	37
4.3.3.	Densidad	39
4.3.4.	Tensión - Comprensión	40

4.4	CARACTERISTICAS DEL ANFO UTILIZADO	41
4.4.1.	Anfo-Industrial Cachimayo S.A.	41
4.4.2.	Características Físico-Químicas	42
4.4.3.	Velocidades de Detonación	42
4.4.4.	Densidad del ANFO	43
5.0.	CONDICIONES PARA EL USO DE ANFO EN MINERIA SUBTERRANEA	44
5.1.	VENTILACION	44
5.1.1.	Labores donde se utiliza ANFO	48
5.1.2.	Ventilación Forzada	49
5.1.3.	Velocidad de Aire en las Labores	50
5.1.4.	Balance de Aire en Mina.	51
5.1.5.	Aire Fresco Requerido por Turno	52
5.2.	MEDIDAS DE SEGURIDAD ADOPTADAS	54
5.2.1.	Equipo de Planta de Mezclado, Diseño y Características	54
5.2.2.	Característica del Depósito de Nitrato de Amonio	55
5.2.3.	Características del Almacena- miento de Petroleo	55
5.2.4.	Transporte Manipuleo y Uso de ANFO	56
5.3	REGLAMENTO INTERNO DEL USO DEL ANFO	56
6.0.	OPERACION MINA	60

6.0. OPERACION MINA	60
6.1 EXPLOTACION	60
6.1.1. Métodos de explotación	60
6.1.2. Perforación	63
6.1.3. Voladura	71
6.1.4. Productividad y Costos.	74
6.2. DESARROLLO Y PREPARACIONES	78
6.2.1. Perforación.	78
6.2.2. Voladura	81
6.2.3. Productividad y Costos	86
7.0. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
7.1 CONCLUSIONES	89
7.2. RECOMENDACIONES.	90
BIBLIOGRAFIA	91

## PROLOGO

Con la finalidad de mejorar nuestra operación, y a la vez ir de la mano con las innovaciones tecnológicas nos vemos en la obligación de usar nuevos explosivos y/o agentes de voladura.

El ANFO es el agente de voladura que se está implementando en su uso en esta mina, debido a que se conoce sus características y bondades que ofrece.

El rendimiento del ANFO es efectuado por una serie de factores, entre ellos se tienen:

Propiedades físicas del Nitrato de Amonio.

Factores de campo.

Propiedades de las rocas entre otras.

Para el uso de ANFO en minería subterránea se tiene que cumplir algunos requisitos debido al gran volumen de gases tóxicos producidos durante la explosión, siendo superado el problema con una adecuada ventilación.

El objetivo es mejorar la productividad, ya que este es un termómetro del progreso de cualquier empresa ó actividad económica, su incremento repercute directa-

mente en los costo de producción, utilidad de la empresas, y los impuesto que percibe el estado.

El incremento de la productividad esta relacionado a lo siguiente:

Optimización de operaciones.

Utilización de nuevas tecnologías.

Capacitación de personal a todo nivel.

Dentro de este contexto las operaciones que se optimizarán con buenos resultados son en la perforación y voladura, tanto en explotación como preparación y desarrollos gracias al gran cambio de tecnología en la perforación y el uso adecuado del ANFO en la voladura.

## 1.0. UBICACION Y ACCESO

### 1.1. UBICACION.-

La Unidad de Producción "San Rafael", políticamente se encuentra ubicada en el Distrito de Antauta, Provincia Melgar, Departamento Puno, geográficamente está ubicada en la Cordillera Oriental, una continuación de la cordillera Real de Bolivia y sus coordenadas son:

Longitud Oeste	70° 19' 18"
Longitud Sur	14° 13' 41"
Altitud promedio	4,530 m.s.n.m.

### 1.2. ACCESIBILIDAD.-

Para llegar a la unidad de Producción "San Rafael" se tiene dos modalidades.

#### Vía Aérea

Lima - San Rafael ATSA Tiempo: 2 horas

#### Terrestre

Lima - Arequipa Panamericana Sur 1:030 Kms.

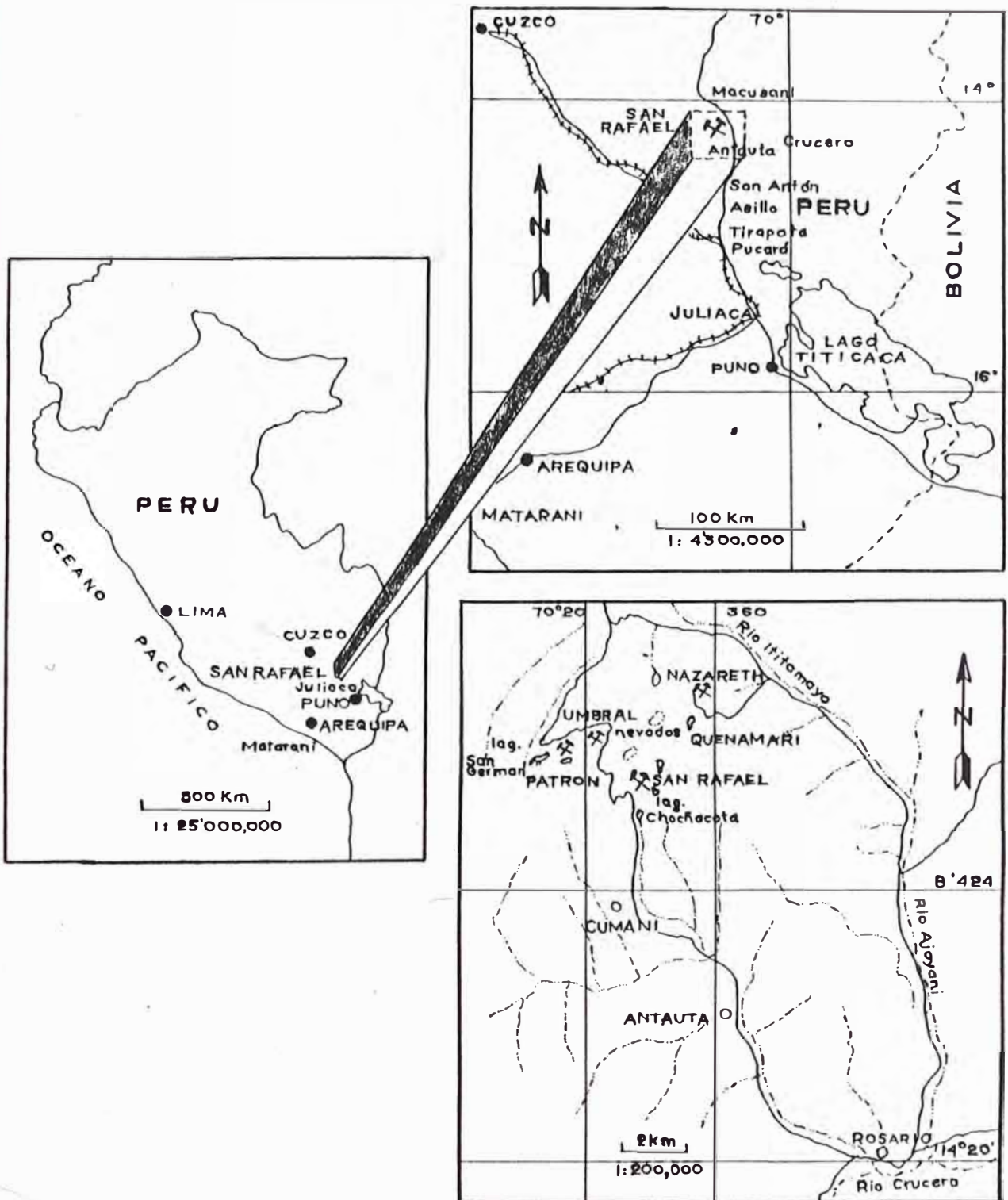
Arequipa - Juliaca :243 Kms.

Juliaca - San Rafael :180 Kms.



### 1.3. ACTIVIDAD MINERA.-

Minsur S.A. en la unidad de producción "San Rafael" efectúa las siguientes actividades mineras: Explotación Desarrollos, Explotación y Concentración de Minerales cuyos productos finales son los concentrados de Cobre y Estaño.



**PLANO DE UBICACION  
DEL  
DISTRITO MINERO SAN RAFAEL  
PUNO**

GRAFICO N° 1

## **2.0. GEOLOGIA DEL YACIMIENTO**

### **2.1. GEOLOGIA.-**

Las rocas presentes varían en edad desde el paleozoico inferior hasta el Cenozoico. Los sedimentos antiguos están fuertemente plegados y fallados, comprenden filitas, pizarras, cuarcitas; siendo más abundantes las pizarras, estos sedimentos son intruidos por cuerpos batolíticos de edad Triásica y por Stock terciarios de composición granítica principalmente hay dos Stock, uno en la mina San Rafael, denominado San Bartolomé de Quenamari y el otro en la Mina Carabaya, en la nevada San Francisco de Quenamari.

### **2.2. DEPOSITO MINERALES.-**

La mineralización del Distrito minero de San Rafael, es de origen hidrotermal y está en vetas del tipo relleno de fracturas, y de reemplazamiento de bolsonados en el intrusivo y en las Filitas.

### **2.3. AFLORAMIENTO.-**

Los afloramiento de las vetas corresponden a fallas preminerales, tienen rumbos entre N 10°W a N 10°W, con buzamiento entre 40° - 75° NE.

### **2.4. SANEAMIENTO MINERALOGICO.-**

En la veta San Rafael hay un marcado saneamiento vertical cobre en la parte superior (sobre el nivel 66), Cobre-Casiterita en agujas (entre niveles 666-533) y Estaño madera, botroidal y Estaño oscuro en la parte inferior (debajo del nivel 533).

En el contacto sur de la veta San Rafael hay una mineralización polimetálica de Plomo, Zinc, Plata y Cobre.

### **2.5. BOLZONADA O CUERPOS MINERALIZADOS.-**

Las bolzonadas más conocidas son Ore Shoot, Cuerpo de Brecha, Cuerpo Contacto, Cuerpo 310-S y Cuerpo 250-S. Estas bolzonadas se forman por un cambio de rumbo (dirección) en la veta de N-S, N 10° W a N 45° W, ó E-W; en donde se forman un lazo cimoide compuesta.

Estos cuerpos tienen longitudes de 30 a 210 mts. y anchos de 15 a 40 mts.; presentan buenas características mineralógicas con leyes que promedian entre 5 a 8% Sn.

## 2.6 MINERALOGIA.-

Los minerales económicos principales son: Casiterita y Chalcopirita, en menor proporción Estannita, galena y tetrahedrita.

### - **Minerales Abundantes:**

Casiterita, estannita, arsenopirita, clorita, cuarzo, pirita, silico, turmalina.

### - **Minerales menores:**

Bismuto, nativo, bornita, calcita, chalcopirita, caolinita, covelita, cuprita, esfalerita, fluorita galena, hematita, malaquita, mercasita, pirrotita, siderita.

### - **Minerales bajos:**

Cobre nativo, cubanita, enargita jamesonita, estibina, oro, plata nativa, schelita, wolframita.

## 2.7 SECUENCIA DE LA MINERALIZACION.-

Se han diferenciado cuatro eventos principales hipogénéticos en la veta San Rafael, que contribuyeron a las secuencias de la mineralización (Palma 1,981).

### **Primera Etapa:**

Vetas de cuarzo y turmalina, comprende vetillas de turmalina, vetas de cuarzo turmalina y bechas de turmalina, sin valores económicos.

### **Segunda Etapa:**

Casiterita brotoidal-cuarzo-cloritas; es el evento más importante de la mineralización, consiste de casiterita brotoidal de color marrón y negro.

### **Tercera Etapa:**

Chalcopyrita, estaño en agujas cuarzo cloritas, la chalcopyrita asociada con galena.

### **Cuarta Etapa:**

Veta de cuarzo-calcita de 3mm a 1cm. las vetillas de cuarzo, cuarzo-clorita la pirrotita ha sido convertida en marcasita, arsenopirita, pirita.

## 2.8. CONTROLES DE LA MINERALIZACION.-

Las vetas y los clavos de mineral son más definidas y continuos en el intrusivos, hacia los contactos y en las filitas las estructuras se ramifican o se adelgazan. Los ramales de un lazo cimoide mineralizan desigualmente, a veces más favorables para el ramal este es más persistente en profundidad. La Unión Norte es más favorable para la formación de algunos cuerpos de mineral.

En unión inferior de un lazo cimoide a la intersección con vetas buzamiento contrario son pobres (veta Quenamari, San Gregorio, San Rafael).

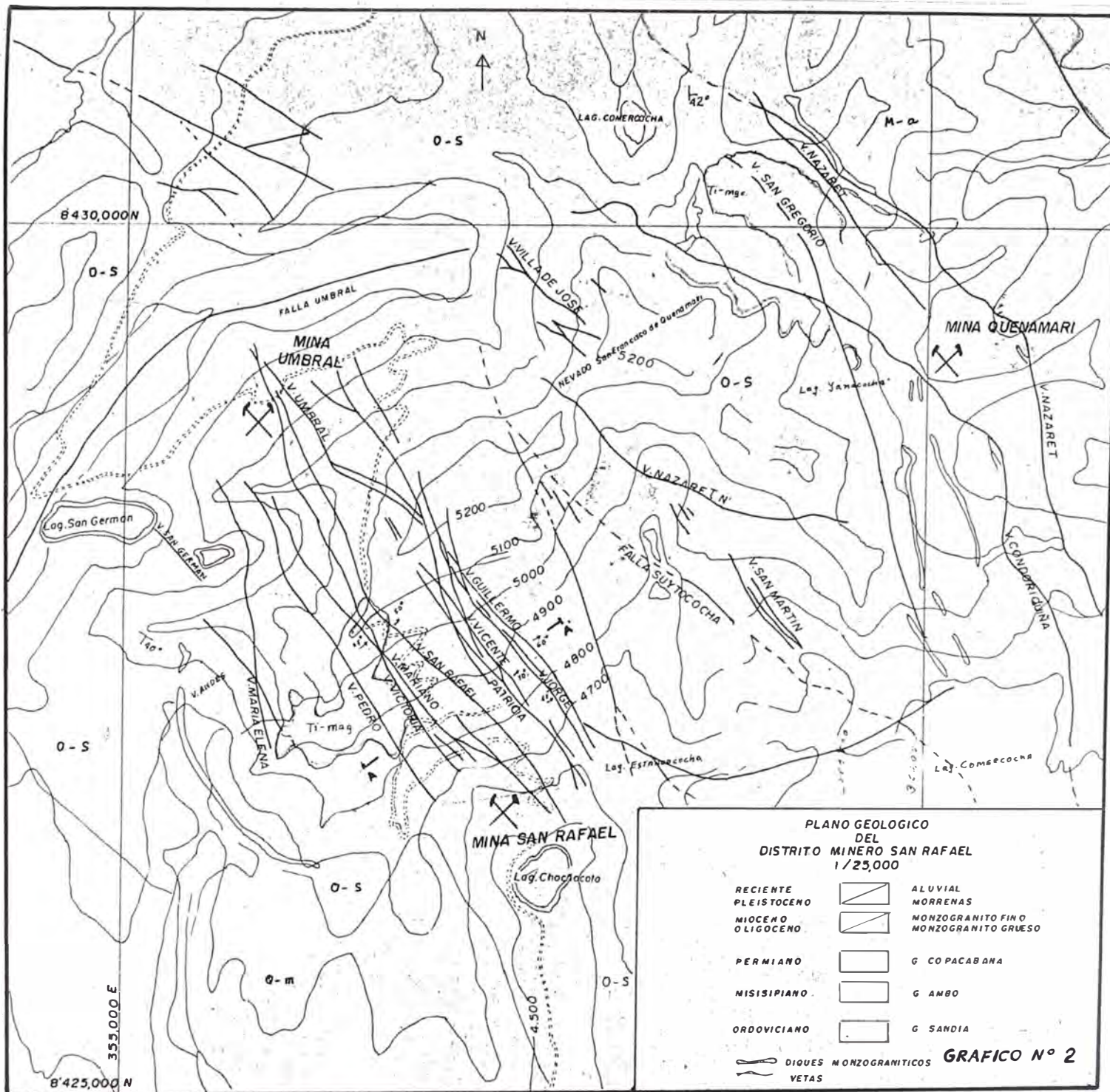
Cambios de rumbo en dirección N-S. son favorables cuando están acompañados de un cambio de buzamiento más echado. A mayor ancho, mayor es la riqueza de la mineralización.

Hay una íntima asociación de clorita y arsenopirita con la casiterita cuando mayor es la cantidad de clorita y mayor su tamaño, mayor es también la abundancia de la casiterita.

## 2.9. ALTERACION HIDROTERMAL.-

Hay una intensa silificación que ha destruido la textura original del intrusivo en los diferentes grados, dentro de la veta y a pocos centímetros fuera de ella; está asociada con una fuerte cloritización. Esta zona de alteración no se extiende más allá de los tres metros de las cajas. El intrusivo cerca de las vetas, se presenta casi fresco y sin toda su textura original, los feldspatos y la matriz presentan una débil caolinización; las pizarras están debidamente silicificadas y caolinizadas.





2.10 RESERVAS MINERALES AL 31 DE DICIEMBRE DE  
1995.-

MINA SAN RAFAEL

TIPO	T.M.S.	%Cu	%Sn
<u>MINERAL:</u>			
PROBADO	8901880	0,24	5,08
PROBABLE	1745710	0,32	5,01
TOTAL DE RESERVAS	1064710	0,32	5,01
TIPO	T.M.S.	%Cu	%Sn
<u>MINERAL:</u>			
MENA	10586715	0,25	5,09
MARGINAL	60875	0,40	2,29
TOTAL DE RESERVAS	10647590	0,25	5,07
<b>MINERAL DE ESTAÑO</b>			
	T.M.S.	%Cu	%Sn
VETA SAN RAFAEL	1582040	0,29	5,66
CUERPOS	T.M.S.	%Cu	%Sn
ORE SHOOT	1991750	0,17	4,63
CUERPO DE BRECHA	1478410	0,17	4,49
CUERPO CONTACTO	4064640	0,17	5,72

CUERPOS	T.M.S.	%Cu	%Sn
CUERPO 310	731450	0,05	3,26
CUERPO 250	411585	0,05	6,41
TOTAL DE CUERPOS	8677835	0,19	5,09
TOTAL SAN RAFAEL	10259875	0,20	5,17
	T.M.S.	%Cu	%Sn
VETA SPLIT"2" SAN RAFAEL 310-N	51070	0,04	4,86
VETA MARIANO	19200	0,29	5,66
VETA JORGE	120010	0,09	3,20
VETA VICENTE	13480	0,69	2,38
TOTAL VETAS	203760	0,14	3,64
TOTAL DE RESERVAS DE ESTAÑO	10463635	0,20	5,14
<b>TOTAL DE RESERVAS MINA SAN RAFAEL</b>			
	T.M.S.	%Cu	%Sn
ESTAÑO	10463635	0,20	5,14
COBRE	74450	3,34	0,56
COBRE-ESTAÑO	109505	2,80	1,49
TOTAL DE RESERVAS	10647590	0,25	5,07

### 3.0. EL ANFO Y SUS CARACTERISTICAS

#### 3.1. HISTORIA.-

Las propiedades explosivas del ANFO fueron usadas primero en 1867 por Alfred Nobel en reemplazo de la NITROGLICERINA en algunas dinamitas, desde entonces se ha empleado como un ingrediente en las dinamitas hasta 1955.

Por la década de 1940 a 1950, ocurrió dos acciones desastrosas donde dos barcos cargados con Nitrato de Amonio, una en Francia y la otra en Texas, que dieron a conocer el gran potencial explosivo del ANFO.

El potencial económico del ANFO como un agente de voladura no alcanzó su desarrollo hasta 1955, cuando H.B. Lee y R. L. Akre patentaron el uso del ANFO clase fertilizante con un sensibilizador combustible carbonoso sólido, éstos como el carbón fueron más tarde reemplazados por aceite combustibles dándose inicio de esta forma el ANFO.

Durante la década de 1960 el ANFO y sus derivados reemplazaron a la dinamita en taladros secos

debido al bajo costo, seguridad en el manipuleo y facilidad en el cargado. En la actualidad a nivel mundial el ANFO se emplea en un 70%, y el uso de dinamitas a decrecido y en cambio otros explosivos como Slurries, Emulsiones en base a Nitrato de Amonio incrementa su uso cada vez más.

### 3.2. PROPIEDADES FISICO-QUIMICOS.-

El ANFO tiene dos componentes como tal este, será afecto de las propiedades físico-químico de estas sustancias. Debido a la gran variedad de NA que existe en el mercado, las propiedades físico-químico varían en un rango muy amplio y por consiguiente los del ANFO, por lo cual en el presente trabajo se considera en término general.

#### 3.2.1. Composición Química y Obtención.

Las sustancias químicas componentes del ANFO son el nitrato de amonio en la forma "prills" y el fue oil (petróleo diesel Nº 2). La reacción general para el balance de oxígeno óptimo es:



El NA usado para la manufactura de ANFO es el obtenido por el proceso "prilling", el cual tiene un revestimiento inerte variable según la casa manufacturera y un contenido aproximado de nitrógeno de 33.5%.

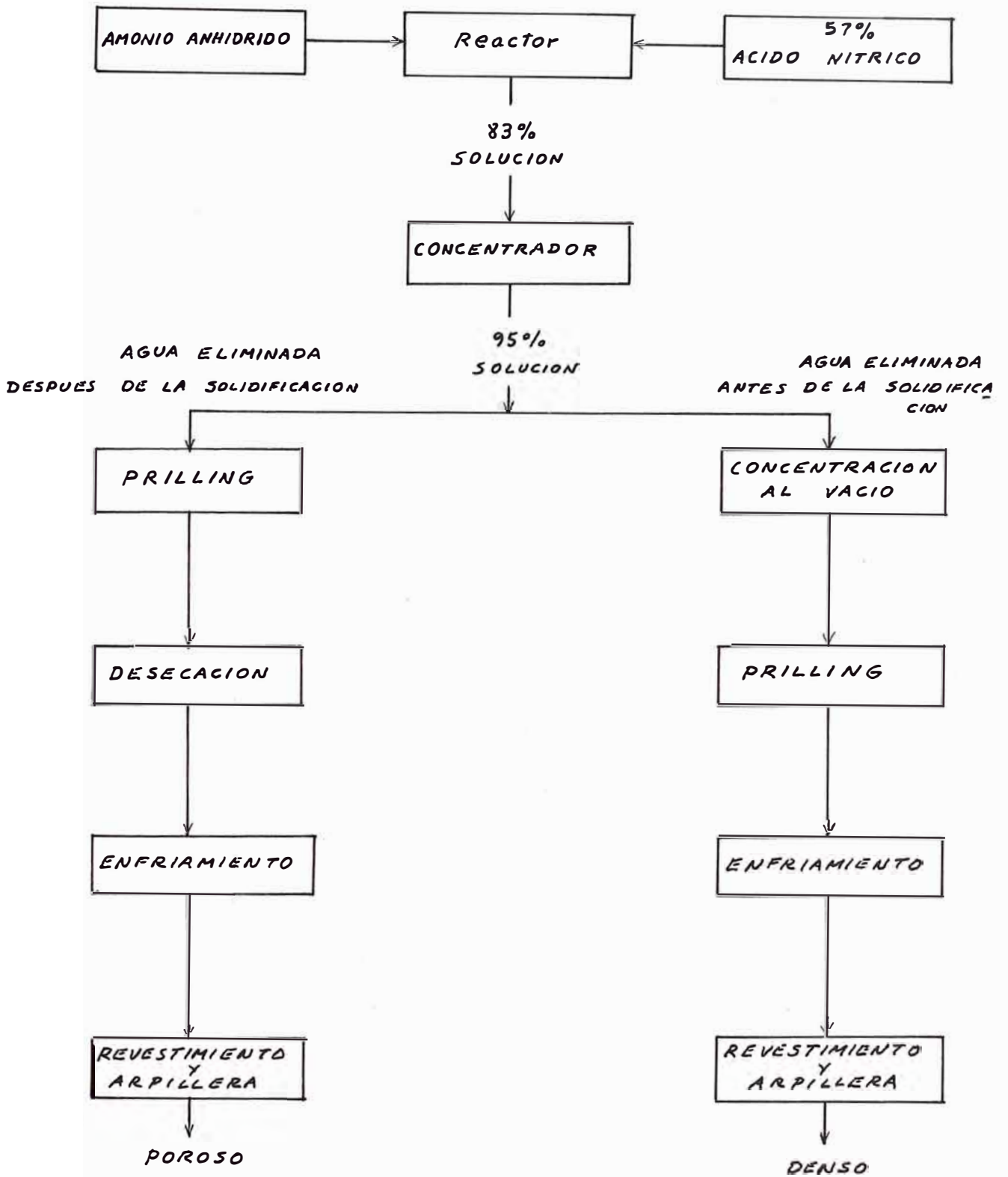
El proceso Prilling es un método que consiste en la neutralización de una solución de ácido nítrico ( $\text{NH}_3$ ) y amonio ( $\text{NH}_4$ ).

En el gráfico N<sup>o</sup> 3 se ve este Proceso, la solución de 95% de NA es rociado a través de una contracorriente de aire en una torre las gotitas y son recogidos en la parte baja y enviados a una serie de secadores rotatorios para evaporar el 5% de agua. Con este procedimiento resulta un "prill" relativamente poroso de densidad baja. Una modificación como se muestra en la parte derecha de la figura N<sup>o</sup> 1 provee un control para variar la densidad aparente final de los prillis.

### **3.2.2. Balance de Oxígeno.**

denomina balance de oxígeno al acceso o defecto de  $\text{O}_2$  que contiene un explosivo o agente de explosivo químico.

# PROCESO PRILLING



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

GRAFICO

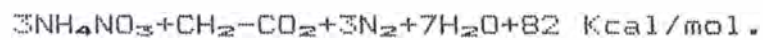
Nº 3

DIBUJO

JUAN LIZANA H.

En los explosivos de combustión el balance de  $O_2$  es cero; positivo los que tiene exceso de  $O_2$  y negativo los que tiene deficiencia de  $O_2$ .

La reacción ideal para el balance de oxígeno óptimo es:



Cálculo de porcentajes para la reacción.

COMPONENTE	PESO MOLECULAR Gr/mol	PESO TOTAL MEZCLA (Grs)	PORCENTAJE
NA	80	254	94.40
FO	14		5.60

El balance de oxígeno cero está expresado matemática por:

$$BO - O_o - 2CO_2 - H_2O = 0$$

BO = Balance de Oxígeno.



Y en forma general para algunos explosivos que contienen solamente los elementos C, H, N, y O, como el ANFO.

$$BO : O_o - 2Co - 1/2 = Ho.$$

### 3.2.3. Volumen de Gases durante la Explosión.

Si hay exceso de NA, habrá exceso de oxígeno y los gases formados son  $NO_2$ ,  $NO$ ,  $H_2O$  y  $CO_2$ , si hay defectos de NA, habrá defecto de oxígeno y los gases formados son  $H_2O$ ,  $N_2$  y  $CO$ ; si la mezcla se hace en proporciones correctas (94.33% NA y 5.67% FO), es decir balance de oxígeno cero, los gases producidos son  $H_2O$ ,  $CO_2$  y  $N_2$ .

El volumen de gases para el balance de oxígeno cero es: 240 gr. de NA generan 22.4 lt.  $CO_2$  + 3 \* 22.4 lt. de  $N_2$  + 7 \* 22.4 lt  $H_2O$  volumen de gases/mol = 82 lt = 0.082 m<sup>3</sup>.

Volumen de  $CO_2$  (gas tóxico) por Kg. de ANFO = 0.087 m<sup>3</sup>.

#### 3.2.4. Forma y Tamaño.-

La forma, tamaño y distribución de las partículas o "pills" de NA tienen gran influencia en la velocidad de detonación y en la sensibilidad del ANFO. La explicación a este fenómeno no se debe a que la esfericidad y el tamaño de las partículas influyen en la densidad de carga, al incrementar la densidad de carga se incrementa la velocidad de detonación.

Teóricamente, al disminuir el tamaño de las partículas aumenta la velocidad de detonación.

Pero en la práctica resulta lo contrario el tamaño de la partícula pequeña hace producto susceptible al aglutamiento lo mismo sucede cuando el tamaño de las partículas es heterogéneo. Un producto dividido finamente, necesitará una gran cantidad de sustancia inerte de revestimiento, ocasionando una disminución en la velocidad de detonación y en la sensibilidad del ANFO.

El tamaño de las partículas debe estar comprendido entre malla +8 a +28 del sistema estándar, la forma debe ser esférica.

### **3.2.5. Contenido de Sustancias Inertes.**

El propósito de usar agentes inertes de revestimiento es impedir el aglutinamiento de las partículas de NA para facilitar la absorción del FO y el carguío de los taladros. Esta sustancia puede ser tierra diatomita que es aproximadamente el 30% de dióxido de silicio.

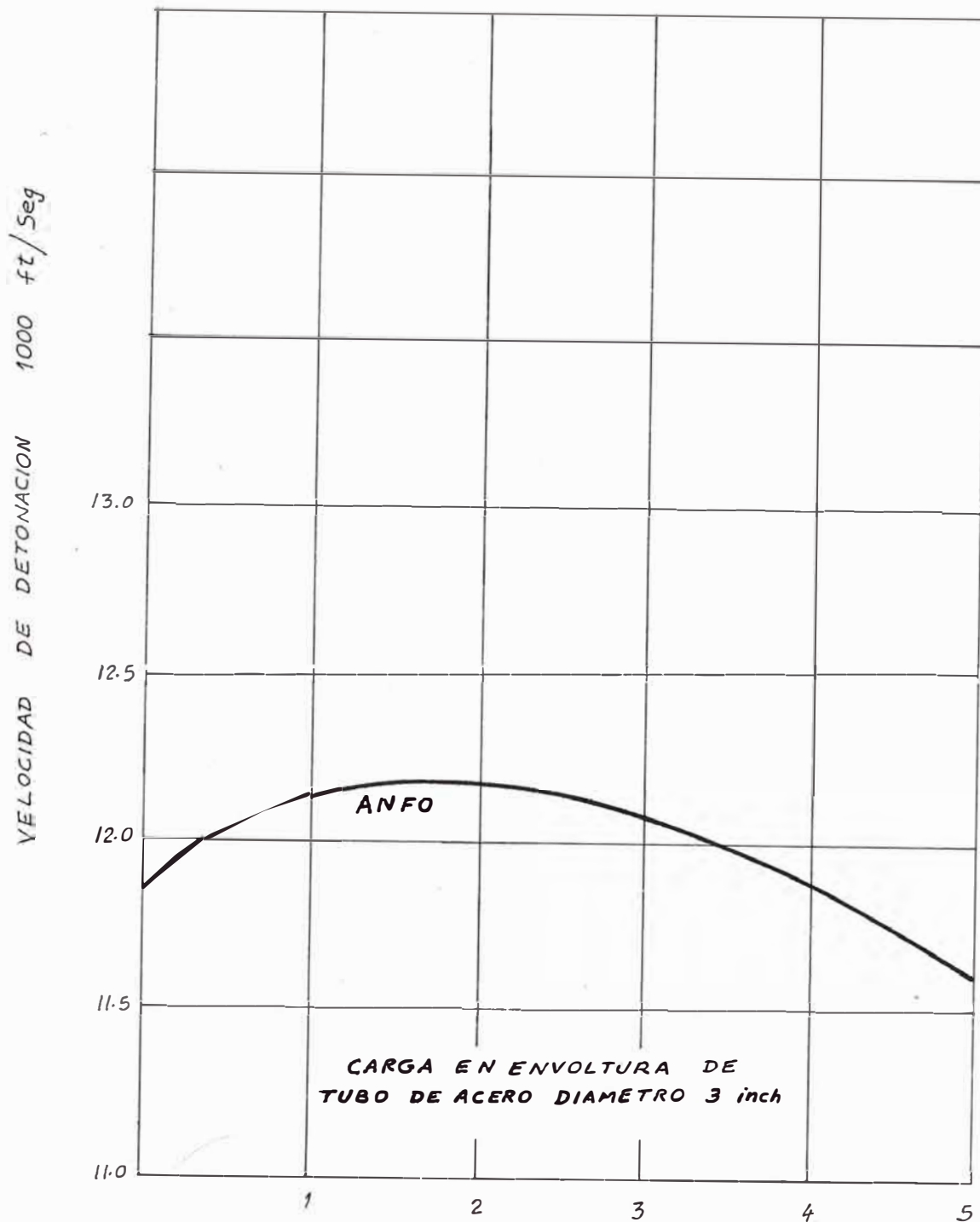
El Gráf. NQ 4 muestra la influencia de revestimiento inerte sobre la velocidad de detonación, la velocidad máxima se obtiene cuando el revestimiento inerte es aproximadamente de 2 - 3%.

Lo ideal es que el NA no tenga ninguna sustancia inerte de revestimiento para que la mezcla se efectúe con más intimidad pero la experiencia demuestra lo contrario, un NA sin revestimiento inerte muy fácil se aglutinará lo que impide la absorción del FO.

### **3.2.6. Contenido de Agua y Densidad.**

#### **Contenido de Agua:**

El NA es Higroscópico, por tanto, absorbe la humedad del medio ambiente; el agua se aloja



**PORCENTAJE DE AGENTE INERTE DE REVESTIMIENTO**

INFLUENCIA DEL AGENTE INERTE DE REVESTIMIENTO SOBRE LA VELOCIDAD DE DETONACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
FIGURA	N° 4
DIBUJO	JUAN LIZANA H.

en los intersticios de las partículas de NA, este fenómeno origina una disminución en la velocidad de detonación.

El Gráf. 5, muestra la relación existente entre el contenido de agua en las partículas de NA y la velocidad de detonación, cuando el contenido de agua es 9% o más el ANFO no detona en taladros húmedos, esto se previene empacándole en bolsas de plástico.

Este fenómeno se da a que la NA es soluble en agua y a que el FO y que el agua no son afines lo cual hace que sea desalojado de las partículas de NA por su menor densidad (0.85 gr/cc) que el agua.

A medida que aumenta el contenido de agua disminuye la velocidad de detonación, esto se debe a que durante la explotación gran cantidad de calor es requerido para vaporizar el agua.

**Densidad:**

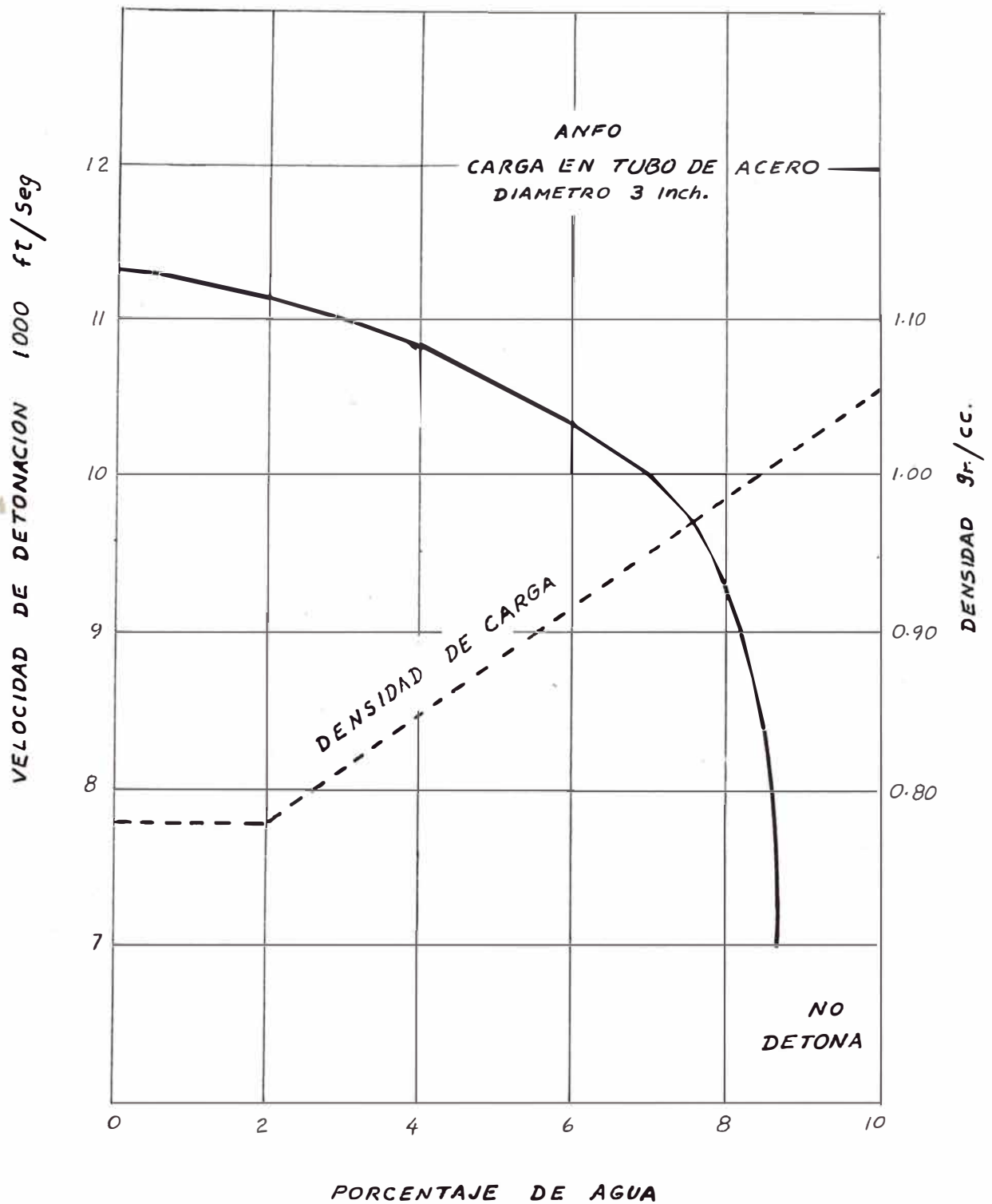
La densidad de las partículas (prills) de NA varía de acuerdo a la firma manufacturera esto se debe a la compactación de las partículas y a la cantidad de sustancia inertes de revestimiento.

La densidad del NA por lo general está comprendido en el rango de 0.73 gr./cc a gr/cc y del ANFO de 0.77 gr/cc. a 0.90 gr/cc.

La absorción de función directa de la densidad y porosidad de las partículas. Esto no quiere decir que el que absorbe la mayor cantidad de FO dará los mejores resultados. En la práctica se obtiene los mejores resultados con el NA de menor densidad y por el consiguiente el ANFO de menor densidad.

**3.2.7. Calor de Explosión y Temperatura.****Calor de Explosión:**

Todo explosivo al detonar genera gran cantidad de calor, por ser la reacción explosiva



EFFECTO DEL CONTENIDO DE AGUA SOBRE LA VELOCIDAD DE DETONACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FIGURA

N° 5

DIBUJO

JUAN LIZANA H.

exotérmica. La cantidad de la velocidad de detonación y no propiamente de la energía latente en el explosivo. Más bien la velocidad de detonación depende de la constitución de la mezcla.

Monsanto en su boletín técnico demuestra que la mezcla que más se acerca al equilibrio químico de la reacción (94.33% de NA 5.67% de FO) genera la mayor cantidad de calor:

#### Calor de Explosión

MEZCLA A		MEZCLA B	MEZCLA C
% NA	90	94.33	98
% FO	10	5.67	2
Densidad	0.9	0.9	0.9
Calor de Explosión (BTU/Lbra)	1422	1656	990

El calor de explosión está dado por la expresión matemática:

$$Q_d = Q_p - Q_r$$



Para el EO = 0 se tiene el ANFO

$$Q_2 = -94.1 - 7 \times 57.8 + 0 \times 87.3 = 7 = -82 \text{ Kcal/mol.}$$

$Q_2$  = Calor de explosión

$Q_p$  = Calor de formación productos

$Q_r$  = Calor de formación reactivos.

- **Temperatura:**

Hay temperatura del explosivo (T1), temperatura de detonación (T2) y temperatura de explosión (T3).

Para el cálculo de la temperatura de detonación y de explosión, lo mismo que para la presión y volumen se requiere de la teoría termohidrodinámica que se basa en las leyes de la conservación de la masa cantidad de movimiento y energía.

La temperatura de detonación se calcula iterando las ecuaciones 1, 2, 3.

$$T_2 = \frac{(Q_2 + T_1 \sum n_i \bar{C}_V) \beta = 3,560}{\beta \sum n_i \bar{C}_V - \sum 1/2 R n_i} \dots (1)$$

$$\beta = \frac{R \sum n_i + \sum n_i C_v}{\sum n_i C_v} \frac{d\alpha}{dv} = 0.7652 \quad \dots(2)$$

$$\beta = \frac{V_2 - \alpha \cdot 0.7650}{V_1 - V_2} = 0.7650 \quad \dots(3)$$

Para  $B_0 = 0$  en el estado de explosión.

$$Q_2 = Q_3 \quad \gamma \rho_1 = \rho_3$$

Como información la temperatura de detonación por lo general está dentro del rango de 2000.

$$K < T_2 < 6000^\circ K.$$

El procedimiento de cálculo para  $T_2$ ,  $V_2$ ,  $D$  y  $\alpha$ . Es similar a los anteriores.

### 3.2.8. Energía y Presión.

#### - Energía:

La energía total de un explosivo está dado por: energía cinética del explosivo y masa gaseosa, energía interna y energía de compresión de los gases y explosivos.

$$E_1 + 1/2 U_1^2 + P_1 V_1 = E_2 + 1/2 U_2^2 + P_2 V_2 - Q_2$$

$$\frac{U_1^2 + P_1}{V_1} = \frac{U_2^2 + P_2}{V_2}$$

$$U_1 \rho_1 = U_2 \rho_2$$

- **Presión:**

Presión del explosivo (ANFO) ( $P_1$ ), presión de detonación ( $P_2$ ) y presión de explosión ( $P_3$ ).

Se calculan por medio de las expresiones matemáticas (5) y (6).

$$P_2 = \frac{nRT_2}{(V_2 - \alpha)} = 46,000 \text{ Atms.} \quad \dots(5)$$

$$P_3 = \frac{P_2}{2} = \frac{nRT_2}{2(V_2 - \alpha)} = 23,000 \text{ Atms.} \quad \dots(6)$$

La presión de detonación es aproximadamente el doble de la presión de explosión.

### 3.2.9. Sensibilidad.

La sensibilidad se define como la facilidad para ser iniciado el agente explosivo ANFO. Al pasar del estado sólido al estado gaseoso puede hacerlo con la mayor o menor facilidad, entonces se dice que es sensible o menos sensible.

Cuando un agente explosivo (ANFO) es excitado por un agente físico, calor, impacto, etc.

Este puede reaccionar violentamente produciendo lo que se llama reacción de explosión. Entre más fácil sea iniciada esta reacción y más rápido se descomponga el ANFO, se dice que más sensible es.

El ANFO, es insensible al impacto, para ser iniciado necesita de un explosivo de alta potencia.

La sensibilidad es seriamente afectada por:

El grado de confinamiento

Discontinuidades en la columna explosiva.

Longitud del taladro, (puede resultar incompleta la donación).

Contenido del fuel oil (la sensibilidad aumenta cuando el % de FO disminuye).

Cantidad de revestimiento inerte (la sensibilidad aumenta cuando éste disminuye).

Diámetro de carga- (menor de 1"  $\phi$  prácticamente es insensible, cuando el diámetro es muy grande también disminuye).

Densidad de carga- (la sensibilidad disminuye cuando aumenta la densidad de carga). Una vez que la densidad de carga pasa de 0.95 gr/cc.

Temperatura. La sensibilidad aumenta de temperatura. Al ser la temperatura de los taladros mayor de 50°C el ANFO puede detonar prematuramente.

### **3.2.10. Velocidad de Detonación:**

Es la velocidad de descomposición del explosivo, es decir, la rapidez con que pasa del estado sólido al estado gaseoso.

La velocidad de detonación es el parámetro más importante de todo explosivo y agente explosivo y depende de muchos factores. La velocidad de

detonación del ANFO es muy variable, en condiciones favorables fácilmente pasa los 12,000 pies/seg.

La velocidad de detonación teórica se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$D^2 = V_1^2 (nRT_2\beta) \text{ Luego } D = 4600 \text{ mt/seg.}$$

$$D = \frac{\text{-----}}{(V_2 - a)^2}$$

Las tablas 1 y 2 se usan para el cálculo de los parámetros de detonación. Símbolos usados.

P = Presión, 1 del explosivo, 2 de detonación y 3 de explosión.

T = Temperatura, 1 temperatura inicial (298°K), 2 de detonación y 3 de explosión.

V = Volumen específico, 1 del explosivo (ANFO), 2 en el estado de detonación y 3 en el estado de explosión.

$\rho$  = Densidad, 1 del explosivo, 2 en el estado de detonación y 3 en el estado de explosión.

$U_1$  = Velocidad material absoluta, 1 en el estado inicial, 2 en el estado de detonación.

$C_v$  = Capacidad calórica a volumen constante.

$C_v$  = Capacidad calórica promedio a volumen constante.

$R$  = Constante de los gases.

$n_1$  = Moles de gases/Kg.

$\beta$  = Co-eficiente de compresibilidad.

$\alpha$  = Covolumen.

$E$  - Energía.

#### 4.0. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DEL ANFO

##### 4.1 PROPIEDADES FISICAS DEL NITRATO DE AMONIO.-

Para que el ANFO alcance una velocidad de detonación mayor de 12,000 ft/seg. y su efecto rompedor se acerque al óptimo, el NA que debe usarse en la mezcla debe tener las siguientes propiedades:

Densidad, no mayor de 0.80 ni menor de 0.73 gr/cc.

Las partículas de NA ("prills") deben ser lo más uniforme posible (homogéneos).

Forma en lo posible esféricos.

Análisis de malla, por lo menos 50% debe ser de malla + 10, un 25% malla + 14 el resto de diferentes mallas.

El revestimiento inerte de los "prills" no debe ser mayor de 2.5 ni menor de 1.5% en peso.



Si se obtiene nitrato de amonio de estas características, el rendimiento del ANFO dependerá ya en gran parte del operador.

#### **4.2. FACTORES DE CAMPO.-**

##### **4.2.1. Confinamiento y Atacado.**

El grado de confinamiento afecta directamente en la energía que puede desprender, a mayor confinamiento del ANFO en los taladros mayor será la energía. La sensibilidad se ve seriamente afectado por el confinamiento, se ha comprobado que si se confina ANFO en un tubo de acero y en un tubo de cartón, se necesitará un menor número de fulminante NQ ó para detonar la carga en el tubo de acero de cartón.

El grado de confinamiento variará con el tipo de roca, por las propiedades físicas de ésta, así como también, por la presencia de falla, fisuras o capas, grietas y por las condiciones de carguío.

#### **4.2.2. Diámetro del Taladro.**

También llamado diámetro de carga. El diámetro del taladro tiene un efecto en la velocidad de detonación y sensibilidad del ANFO. La velocidad de detonación y la sensibilidad del ANFO aumenta a medida que aumenta el diámetro, por esta razón la tendencia en voladura de roca es usar taladro del mayor diámetro posible.

El diámetro crítico del ANFO es función de la densidad de carga y confinamiento, en muchas minas del mundo se dispara ANFO en taladros de diámetro 1", probablemente estos taladros son hechos en roca muy dura y compacta, o sea taladros bien confinados.

#### **4.2.3. Mezclado.**

Hay una gran variedad de técnicas según sea minería subterránea o minería superficial.

Entre las técnicas de mezclado se tienen:

**Técnica de la bolsa abierta.-** Este método es fácil de realizar y en corto tiempo, no se llega a obtener la máxima eficiencia del

ANFO, apenas se puede obtener velocidad de detonación hasta 10.00 ft/seg.

La mezcla se efectúa vertiendo la cantidad correcta de FO a la bolsa de NA. Este método se emplea en operaciones de cantera y en minería subterránea donde no se necesitan grandes volúmenes de ANFO (La mayoría de los mineros emplean la proporción de 100 lbs. de NA por 1 galón de FO).

**Técnica de bolsa cerrada.-** Esta técnica se denomina "sistema Monsanto" de inyección de combustible, su resultado es eficiente y de bajo costo, consiste en tratar el NA en su propio envase o bolsa mediante un dispositivo rociador de FO, el combustible es inyectado a presión por medio de una aguja.

Este sistema suministra una excelente distribución del FO tiene la ventaja de ser rápido, fácil y mínimo desperdicio del material, producción por este sistema 3 ton/hora.

**Método mecánico de mezclado.-** En este método se puede improvisar una mezcladora de concre-

to, pero si el ANFO va a ser usado a gran escala en forma estándar en una mina, se debe diseñar una planta de mezclado.

El aparato de mezclado propiamente dicho consta de un recipiente tronco cónico con tres paletas interiores, el material debe ser de acero inoxidable. El tronco cono gira alrededor de su eje accionado por un motor de aire comprimido a una velocidad de 30 RPM, la transmisión de la rotación se hace por medio de fajas en "V". El recipiente da medio giro hacia delante para vaciar el contenido y medio giro hacia atrás para llenar los ingredientes de la mezcla.

En la parte superior del mezclador se encuentra el recipiente medidor de FO con capacidad de 0.9 galones, está conectado por tuberías de entrada que conducen el FO desde el tanque de almacenamiento y otro de salida que conduce el FO al interior del tronco-cono, ambas tuberías tienen válvula de control de flujo.

Para obtener una buena mezcla es necesario que el mezclador gire a una velocidad de 30

RPM durante un tiempo de 5 minutos y al FO añadir un pigmento calorimétrico inerte en la proporción de 1 gr. 100 lbs de NA para controlar la uniformidad de la mezcla. De la mezcladora es necesario vaciar el ANFO a una tolva de capacidad de 100 lbs. para de aquí envasarlo en bolsa de 50 lbs.

La producción de ANFO por este método de mezclado es aproximadamente 250 lbs/hombre hora.

Para operaciones de cielo abierto, existen equipos de mezclado totalmente automáticos para la medida exacta de los ingredientes y de las presiones de trabajo, la operación es continua y en el lugar de la operación lo que permite cargar directamente el ANFO a los taladros.

#### **4.2.4. Iniciado.**

La forma, tamaño e intensidad de una unidad de iniciación son las condiciones más importantes para la selección también la situación de ésta unidad es una variable que debe ser considerada.

Es un hecho aceptado que la iniciación es de origen térmico lo cual conduce a una detonación satisfactoria, esto es la aplicación repentina de la energía deber ser transformada en una energía térmica suficiente para iniciar la reacción química que conduce a la detonación. Esta transformación puede ser efectuada en tres formas:

El calor adiabático creado por la compresión repentina de pequeñas burbujas de aire atrapados en la mezcla.

Por el calor friccional creado por el impacto brusco de un material sobre otro en la mezcla.

Por el calor del explosivo viscoso rápidamente fluyendo sobre sí mismo.

El calor adiabático causado por compresión repentina del aire atrapado en los vacíos de las partículas porosas de NA es la clave básica de la detonación.

Como se ha demostrado en el pasado, una mezcla de NA abastecida de combustible sólo es

difícil para iniciar; esto es porque hay pocos vacíos en el material donde los puntos calientes pueden ser formados por calor adiabático del aire atrapado. Por experiencia se sabe que la potencia de un cebo usado para iniciar el ANFO tiene una marcada influencia en la salida de energía. Esto se debe a la gran dependencia del calor y la temperatura del ANFO en su mecanismo de iniciación y logro de la detonación.

La temperatura y presión producida por el detonador debe ser donada al ANFO en cantidades suficientes en un período de tiempo relativamente corto para promover numerosos puntos calientes por calor adiabático. Cuando más grande es el número de puntos calientes más exitosa es la detonación del ANFO.

Los fabricantes de NA recomiendan que una dinamita de 60% (potencia en peso) provee la suficiente fuerza para iniciar al ANFO, sin embargo ciertos casos, dependiendo de las condiciones del terreno y del tipo de NA, el ANFO es iniciado por un fulminante Nº 6, pero la velocidad de detonación será mayor que la obtenida con una dinamita de 60%

### **4.3 PROPIEDADES DEL TERRENO.-**

La mayoría de los materiales que requieren voladura no son homogéneos, tampoco sus propiedades son las mismas a través de toda la masa.

Volabilidad, dureza, electricidad, tenacidad y otros términos pueden también ser usados para describir las propiedades de las rocas, pero a menudo tales expresiones son indefinidas y dificultosas de entender para el usuario.

#### **4.3.1. Velocidad de Propagación de Energía.**

La velocidad de transmisión de la energía en la roca es la misma que la velocidad de reacción de los explosivos, que incrementa cuando la densidad de la roca aumenta. Las rocas más densas son a menudo las menos porosas y están generalmente compuestas de pequeños granos los cuales permiten fácilmente la propagación de la energía a través de la roca. Por esta razón la mayoría de las rocas densas tienen pequeñas pérdidas de energía y tienen la tendencia a desmenuzarse y no romperse en lajas.



La mayoría de las rocas frágiles transmiten también la energía a muy altos valores excepto en el caso de ciertas areniscas. Las características bajas velocidades de muchas areniscas son debidas a una peculiaridad en su composición: la matriz, que une los granos que puede ser arcilla limo u otras sustancias que absorben energía. Sin embargo, si la matriz es silícea la velocidad es bastante alta.

#### **4.3.2. Estructura.**

Los aspectos estructurales en un material generalmente tiene la más grande influencia sobre los efectos de voladura. Para entender mejor sus importancia, se debe conocer que las rocas son esencialmente acumulaciones de partículas pequeñas, que los constituyentes están orientados en patrones estructurales definidos, establecidos durante los procesos de formación y alteración. De importancia primaria para la voladura son los disyunciones de compresión existentes dentro de todas las rocas (ígneas, sedimentarios y metamórficos) compuestos de planos, los cuales no son resistentes a la separación.

Las rocas ígneas pueden tener también disyunciones de tensión formados durante los procesos de enfriamiento.

Las rocas sedimentarios son únicas en cuanto a planos de estratificación se refiere (en adición de las uniones), las cuales fueron originalmente horizontales y formadas por interrupciones en la inicial deposición de los sedimentos. La estratificación y diaclasación no son las mismas cosa.

Para las rocas metamórficas, las relación de diaclasación a esquistocidad, es similar a la que existe en las rocas sedimentas entre diaclasación y estratificación, en cuanto a posición angular y desarrollo mecánico.

La diaclasación es generalmente detectada con facilidad, los planos son en mayoría de los casos lisos y a menudo situaciones a distancias pequeños. Un juego de planos paralelo con el buzamiento y rumbo de la formación rocosa con dos o más juegos cercamente perpendiculares.

Las rocas cuando se rompen serán separados en bloques de una forma característica a su patrón

particular de diaclasación y las nuevas caras producidas en la voladura tenderán a seguir las dimensiones de diaclasación.

#### **4.3.3. Densidad.**

Los materiales densos requieren grandes cantidades de energía para ser satisfactoriamente rotos y desplazados; por lo tanto, explosivos densos o grandes cargas serán necesarios sin embargo se sabe que entre la mayoría de las rocas hay un estrecho margen de diferencias entre las densidades, con los valores de gravedad específico variando desde 2.3 hasta 3.3 en la mayoría de los casos. Los materiales que generalmente requieren voladura tienen densidades entre 2.5 y 2.9 y esto puede interpretarse como la influencia de la densidad de la roca tiene solo un efecto limitado sobre la voladura. Se puede asumir que la densidad de la roca por sí misma es de pequeña importancia para la voladura y que no deberá afectar apreciablemente el valor de dimensión de carga.

La importancia, sin embargo, estriba que tiene influencia en los costos y en las otras propiedades físicas.

#### 4.3.4. Tensión - Compresión.

Desde el punto de vista de la resistencia de materiales, la voladura está normalmente relacionada a la tensión, más resistentes a la compresión; siendo la resistencia a la tensión la décima parte de la resistencia de compresión. La tabla N<sup>o</sup> 3 nos da estos valores, sin embargo el corte no es una fuerza, ya sea dos fuerzas tensionales o dos fuerzas compresivas o una combinación de ellas, las cuales actúan a lo largo de diferentes líneas y direcciones.

Para conocer la resistencia real de una roca, las muestras deben ser probadas en el laboratorio. Las pruebas regulares de resistencia a la tensión son generalmente difíciles de realizar. Sin embargo, las pruebas son conocidas como las del módulo de ruptura son mucho más fáciles; ya que ellas proporcionan información de la resistencia a la tensión que son de igual valor práctico. En efecto la prueba de laboratorio para el módulo de ruptura por la prueba de flexión es similar a la forma en que la roca es flexionada y rota en la cara libre durante la voladura.

Bastante a menudo es imposible o impracticable para el operador realizar estas pruebas o también los resultados de las pruebas sobre muestras no pueden necesariamente proveer información sobre la total resistencia de un depósito rocoso, excepto cuando el material es muy homogéneo y muy masivo. No obstante si las pruebas se pueden realizar, los datos ayudarán grandemente a la determinación de los niveles de esfuerzo (PSI) requerida para la fracturación. Es la resistencia a la ruptura por tensión la que debe ser excedida por la vibración de la energía en las caras libres y si esta es conocida podrá también hacerse una aproximación de la dimensión de carga requerida y de las presiones explosivas para la ruptura.

#### **4.4 CARACTERISTICAS DEL ANFO UTILIZADO.-**

##### **4.4.1. Anfo-Industrial Cachimayo S.A.**

Es un nitrato de amonio en prills o gránulos producido con tecnología alemana en la planta de Industria Chachimayo S.A. situada a 14 Km. de la ciudad del Cusco-Perú. La principal aplicación del Nitrato de Amonio Grado ANFO; es la preparación del agente de voladura ANFO; pero además se produ-

con los siguientes Nitratos:

- Nitrato de Amonio Técnico (NAT).
- Nitrato de Amonio Fertilizante (NAF).

En el Gráf. Nº 7 donde se encuentra la planta de tratamiento.

#### 4.4.2. Características Físico-Químicas.

CARACTERISTICAS	CONTENIDO	%
NITRATO DE AMONIO	MINIMO	98.50
NITROGENO TOTAL	MINIMO	34.50
HUMEDAD	MAXIMO	0.25
ABSORCION PETROLEO DIESEL Nº 2 DESPUES DE 7 DIAS		
- ZONA SUPERIOR DEL TESTIGO	MINIMO	5.50
- ZONA INFERIOR DEL TESTIGO	MAXIMO	6.50
GRANULACION:		
- TAMIZ ITINTEC 3.36mm. (Nº 6)	MAXIMO	0.00
- TAMIZ ITINTEC 2.00mm. (Nº 10)	MAXIMO	6.50
- TAMIZ ITINTEC 1.14mm. (Nº 14)	MINIMO	65.00
- TAMIZ ITINTEC 0.50mm. (Nº 35)	MAXIMO	0.50

#### 4.4.3. Velocidades de Detonación.

El agente de volcadura ANFO, preparado con el NITRATO DE AMONIO GRADO ANFO - INCASA, alcanza una

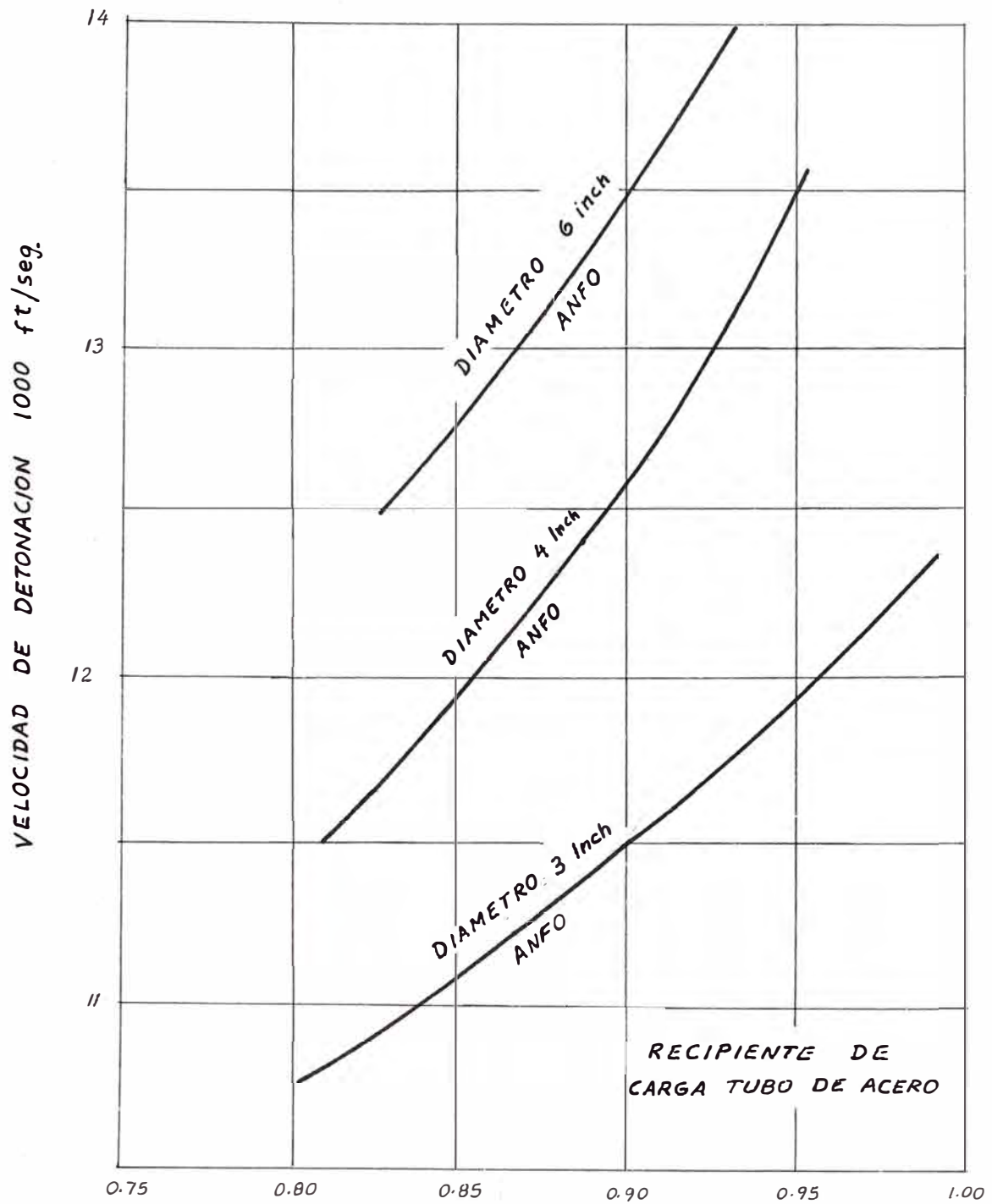
velocidad de detonación de 2,900 m/seg., velocidad obtenida como promedio de 80 muestras usando el método DAUTINONE.

#### **4.4.4. Densidad del ANFO.**

Densidad 0.85 gr/cc.

La densidad del ANFO es muy importante para calcular los parámetros de cargas en voladura, especialmente donde es macizo rocoso sea resistente al fracturamiento y poco fiable. A mayor densidad de carga mayor velocidad de detonación. Existen rocas donde el ANFO solo no podrá actuar. De ahí la importancia de los aditivos potencializadores como el aluminio y otros.

Ver gráfico N° 6



DENSIDAD DE CARGA Gr./cc.

INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE CARGA  
SOBRE LA VELOCIDAD DE DETONACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FIGURA

Nº 6

DIBUJO

JUAN LIZANA H.



## 5.0. CONDICIONES PARA EL USO DE ANFO EN MINERIA SUBTERRANEA.

Para el uso de anfo en minería subterránea, se origina varios requisitos que debe ser cumplido, el cuál es fiscalizado por el Ministerio de Energía y Minas, dichos requisitos están estipulados en el reglamento de Seguridad e Higiene Minera siendo entre los principales los siguientes puntos:

- Sistema de ventilación adecuada para los diferentes labores donde se usa ANFO con las cantidades requeridas de aire, velocidad de aire en las labores, y el balance de aire en mina.
- Medidas de seguridad adoptados tanto en almacenaje, preparado, transporte y manipuleo, y uso del ANFO.

### 5.1. VENTILACION.-

La ventilación tiene como base legal D.S. 023-92-EM, el cual tiene como objetivo en que todos las labores subterranea se mantendrá una

circulación de aire limpio y fresco suficiente y de acuerdo con el número de personas, y las operaciones que se realice.

#### **CANTIDAD DE AIRE.**

La cantidad de aire necesario por hombre será de: 3 m<sup>3</sup>/min. Cuando las minas se encuentran hasta 150 m.s.n.m. Incremento de aire, en otras altitudes la cantidad de aire se incrementa de acuerdo a los siguiente escala:

- \* De 1500 a 3000 m.s.n.m. se incrementa en 40%.
- \* De 3000 a 4000 m.s.n.m. se incrementa en 70%.
- \* Sobre los 4000 m.s.n.m. se incrementa en 100%.

#### **AIRE CIRCULANTE CON EQUIPO DIESEL.**

En el caso de emplear equipo diesel autorizado, la cantidad de aire circulante no será de 3m<sup>3</sup>/min. por cada H.P. del equipo.

### **VELOCIDAD DEL AIRE.**

En galería de tránsito, labores de desarrollo y preparación, la velocidad del aire no será menos de 15 m<sup>3</sup>/min. ni mayor a 250 m<sup>3</sup>/min.

Sí se emplea ANFO la velocidad del aire no será menor a 20 m<sup>3</sup>/min.

### **USO DE VENTILADORES.**

Cuando la ventilación natural, no es capaz de cumplir con las exigencias de caudal y velocidad suficiente, se podrá utilizar ventilación mecánica, con ventiladores principales, secundarios o auxiliares.

### **EVALUACION DE VENTILACION.**

- \* Tener equipo necesario para evaluar la ventilación.
- \* Efectuar evaluaciones con periodicidad.
- \* Evaluar en los cambios de circuitos.
- \* Las entradas y salidas de aire deberán ser absolutamente independientes.

- \* La corriente de aire general se dividirá en la mina en ramales.
- \* Se debe contar con un plano de ventilación de labores a escala 1:500 a 1:2000 donde debe indicarse el flujo de ventilación, estaciones de evoluciones y ubicaciones de ventiladores.

En esta Unidad el sistema de ventilación empleada son:

Ventilación natural.

Ventilación forzada.

Para cumplir con las condiciones de ventilación para el uso de ANFO se realizarán evaluaciones en los circuitos de ventilación, con mayor énfasis en las labores donde se usa el ANFO, se emplea los equipos existentes en el departamento de seguridad que son:

Detector de gases múltiples Modelo 8014KA.

Psicrometro taylor.

Velometro alnor.

Bombilla de humo.

Trisensor Modelo 37000-90.

### 5.1.1. Labores donde se utiliza ANFO.

Los labores donde se usa el ANFO son en los diferentes niveles tanto en Explotación como en desarrollo y preparación, en donde los sistemas de ventilación son naturales y forzada dependiendo del circuito de ventilación:

LABOR	DESCRIPCION	TIPO DE VENTILAC
Nv. 450	Voladura de taladros largos, voladura secundaria	Natural
Nv. 430	Voladura de taladros largos, voladura secundaria	Natural
Nv. 410	Voladura de taladros largos, voladura secundaria	Natural
Nv. 390	Voladura de taladros largos, voladura secundaria	Natural
Nv. 370	Voladura de taladros largos, voladura secundaria	Natural
Nv. 350	Frontones de preparación	Forzada
Nv. 330	Frontones de preparación	Forzada
Nv. 200	Frontones de desarrollo	Forzada
Nv. 175	Frontones de preparación	Forzada
Nv. 150	Fronton de explotación y desarrollo	Forzada
Nv. 100	Fronton de explotación y desarrollo	Forzada
Ra. 523	Fronton de explotación	Forzada

### 5.1.2. Ventilación Forzada.

La ventilación forzada se usa generalmente en los frontones de explotación, desarrollo y preparación para ese objetivo se usan ventiladores Axiales de diferentes capacidades que trabajan como extractores mediante ductos de concreto armado que van empotrados al lateral de frente, se realiza un desquinche adicional en el frente estos son integrados al circuito de ventilación, siendo estos ductos de diferentes dimensiones, dependiendo de la sección del frontón, los más comunes en frontones mayores de 4 x 4 m<sup>2</sup>. Altura 1.80 m.

Ancho 1.00 m.

y en secciones menor.

Altura 1.00 m.

Ancho 1.00m.

Estos ductos van a 25 mts. del tope del frente y el ventilador se avanza cada 100 mts. del frente lográndose buenos resultados, ya que la evacuaciones de gases y polvo de la labor toma un tiempo máximo de 20 minutos.

A continuación se tiene un cuadro mostrando los ventiladores Axiales y sus características que

se usan en los diferentes labores, dicha distribución está hecha de acuerdo a los cálculos que se efectúa para cada labor en particular.

LABOR	MARCA	CAUDAL CFM	PRESION H <sub>2</sub> O"	POT. ELEC. HP
Nv. 200	JOY	30,000	5	37
Nv. 175	JOY	50,000	8	75
Nv. 150-N	JOY	50,000	10	100
Nv. 150-S	AIRTEC	8,000	4	12
Nv. 100-N	JOY	50,000	8	48
Nv. 100-S	JOY	30,000	5	37
RAMPA 523	JOY	100,000	10	200
STAND BY	JOY	50,000	8	100
STAND BY	JOY	50,000	8	100
REPARACION	AIRTEC	11,000	6	24
STAND BY	AIRTEC	11,000	10	24

### 5.1.3. Velocidad de Aire en las Labores.

Las velocidades del flujo de aire en los diferentes Niveles y labores dan como promedio 91 pies/mint. Esto es un flujo bastante bueno, ya que según las exigencias del Ministerio de Energía y minas para uso de ANFO, debe ser como mínimo de 65

pies/mint. demostrando los condiciones ambientales de trabajo son buenos.

LABOR	SECCION Pies <sup>2</sup>	VELOCIDAD PIES/MINT.
Nivel 450	241	80
Nivel 430	112	60
Nivel 410	241	100
Nivel 390	112	100
Nivel 370	241	120
Nivel 350	112	90
Nivel 330	112	90
Nivel 200	172	90
Nivel 150	112	85
Nivel 100	112	74
RAMPA 523-167	322,5	148

#### 5.1.4. Balance de Aire en Mina.

El balance de aire en mina se realiza con la finalidad de ver si realmente en el circuito de ventilación se tiene el flujo necesario requerido para la Operación, para el cual se efectuó los evaluación en los diferentes niveles de Operaciones obteniéndose los resultados que se muestran en el siguiente cuadro.



LABORES	INGRESO (CFM)	SALIDA CFM
Rampa principal 523	143,325 (Natural)	-----
Nivel 450	8,000 (Natural)	10,590
Nivel 410	18,560 (Natural)	8,265
Nivel 370	18,560 (Natural)	7,810
Nivel 310	-.-	4,130
Nivel 200	-.-	20,915
Nivel 175	-.-	21,895
Nivel 150	-.-	21,400
Nivel 100	-.-	14,450
Rampa 523-167	-.-	60,430
<b>TOTAL</b>	<b>169,889</b>	<b>169,885</b>

Como se observa el flujo de aire en la mina es de 169,885 CFM que es necesario para cubrir los requerimientos de aire fresco.

#### **5.1.5. Aire Fresco Requerido por Turno.**

La operación se desarrollo en tres turnos de 8 horas cada una teniendo el 100% de la operación de los turnos segundo y tercero, ya que en el primer turno se dedica a servicio y mantenimiento

de equipo y labores que alcanza un 50% teniendo esta consideración y los equipos usados se efectúa el cálculo de aire fresco requerido por turno.

DESCRIPCION	CONDICION	VALOR UNITARIO	TOTAL
Número de trabajadores	Total en Operación	1 Hombre	73 Hombres
Cantidad mínima de aire necesario por trabajador.	Nivel del mar 4,530 m.s.n.m.	212 CFM	15,476 CFM
Cantidad de aire requerido grupo diesel	- 1,500 P de 185 HP - 2 camiones Jarvis Clack 185 HP - 1 Volquete Volvo 410 HP	106 CEF x HP	102,290 CFM
Delución de contaminante	- Sección promedio 3.5 x 3.0 - Número de niveles Operación 4 - Velocidad mínima 65	3.5x3.0x4x20	29,664 CFM
<b>TOTAL AIRE REQUERIDO</b>			<b>147,430 CFM</b>

El aire requerido para cumplir con el reglamento de Seguridad y los condiciones de Operación sean los más adecuados se necesita como mínimo de aire fresco requerido de 147,370 CFM.

## 5.2. MEDIDAS DE SEGURIDAD ADOPTADAS.-

### 5.2.1. Equipo de Planta de Mezclado, Diseño y Características.

La mezcla de Nitrato de Amonio y petroleo diesel N<sup>o</sup> 2 es convencional, el equipo es una batea de madera y el batido se realiza con una pala de madera, construida para tal fin. El ANFO es preparado para el consumo diario y por personal especializado.

La casa esta construida de material no combustible.

El piso de planta de mezcla es de concreto y cuenta con una línea de agua.

El local está ubicado en una área libre, el diseño y característica se pueden apreciar en el plano respectivo.

### **5.2.2. Característica del Depósito de Nitrato de Amonio.**

El nitrato de amonio aún no mezclado está depositado en un lugar aislado, con las siguientes características:

Local con buena ventilación.

Instalación con una línea de agua.

Energía eléctrica correctamente instalado.

Se cuenta con el aviso respectivo "PROHIBIDO EL INGRESO".

Los sacos de nitrato se almacena en anaqueles de madera.

### **5.2.3. Características del Almacenamiento de Petroleo.**

El petroleo utilizado en la misma mezcla, pertenece al mismo cilindro ubicado en superficie y tiene las mismas características establecidas por los fabricantes (petroleo diesel N<sup>o</sup> 2). El suministro a la cal de mezcla de ANFO se realiza cilindro por cilindro.

#### **5.2.4. Transporte Manipuleo y Uso de ANFO.**

El ANFO preparado es depositado en las mismas bolsas ó secos que envían los fabricantes y colocados en anaqueles de madera en un ambiente aparte, tal como se muestra en el plano, se prepara la cantidad a ser utilizada en el día.

El transporte del ANFO preparado y embolsado es transportado por vehículos designados para tal fin, cuya tolva es totalmente de madera y conducido por un chofer conocedor de las normas vigentes para el transporte de explosivos y cuenta con el carnet del DISCAMEC.

El chofer - bodeguero recibe la orden del ingeniero de truno hace visar con el jefe de Departamento de Seguridad, quién autoriza cantidades estrictamente necesario para la utilización diaria.

#### **5.3 REGLAMENTO INTERNO DEL USO DEL ANFO.-**

El objetivo del presente reglamento interno es hacer conocer al personal obrero y empleado, por que la actividad a la cual nos dedicamos, el uso del ANFO debe realizarse correctamente, tanto

en la recepción, almacenamiento, preparado, transporte y manipuleo, evitando de esta forma cualquier tipo de accidente.

Está terminantemente prohibido el ingreso de personas ajenas al depósito y preparado de ANFO, el ingreso es solo del personal autorizado para estas tareas.

El orden y limpieza del área donde se mezcla el ANFO y deposita del mismo es responsabilidad directa del personal autorizado.

La persona responsable del preparado y despacho del ANFO verificará que los vales de salida cuente con la firma del ingeniero solicitante y el visto bueno de Jefe del Departamento de Seguridad.

Así mismo el despacho solo se realiza de 7:00 a.m. a 3:00 p.m. en los días establecidos.

El transporte del ANFO se realizará en los sacos originales debidamente sellados y el vehículo de transporte está terminantemente prohibido de llevar simultáneamente personal, explosivos y otros materiales.

El ANFO es transportado en cantidades estrictamente necesarias, para la utilización; una vez llegada a su destino, éste deberán colocar sobre plataformas de madera y en áreas secas.

Está prohibido que el personal abra los sacos de ANFO, o tomarlos después del uso, los sacos vacíos de ANFO, deberán ser devueltos al Departamento de Seguridad, para su posterior destrucción.

En los frentes donde se va utilizar el ANFO deberán contar obligatoriamente con el ventilador respectivo de acuerdo a las características de sección de labor. El Jefe del Departamento de Seguridad es la única persona que autoriza el uso de ANFO en los frentes de trabajo.

Durante el carguío de ANFO, está prohibido utilizar otro tipo de manguera, que no sean las antiestáticas, y con las líneas de tierra en perfecto estado, para descargar la electricidad estática.

Una vez realizado los disparos en los tajeos y frentes con ANFO, el personal encargado debe constatar cualquier concentración de gas; de existir éstos, se deberá a proceder a eliminar con abundante cantidad de agua.

El Jefe del departamento de Seguridad efectuará con frecuencia mediciones y evaluaciones de la presencia de gases, y en las labores donde no existan condiciones exigidas se procederá a colocar avisos que permiten evitar la ocurrencia de accidentes por presencia de éstos.



## **6.0. OPERACIONES MINA.**

Teniendo en cuenta la situación de la minería Peruana la Unidad de producción San Rafael se ha visto obligado a mejorar la eficiencia y bajar los costos elevados, para lo cual se vio en la necesidad de introducir innovaciones en los métodos de trabajo y el mejor aprovechamiento de los explosivos y agentes de voladura existente en el mercado.

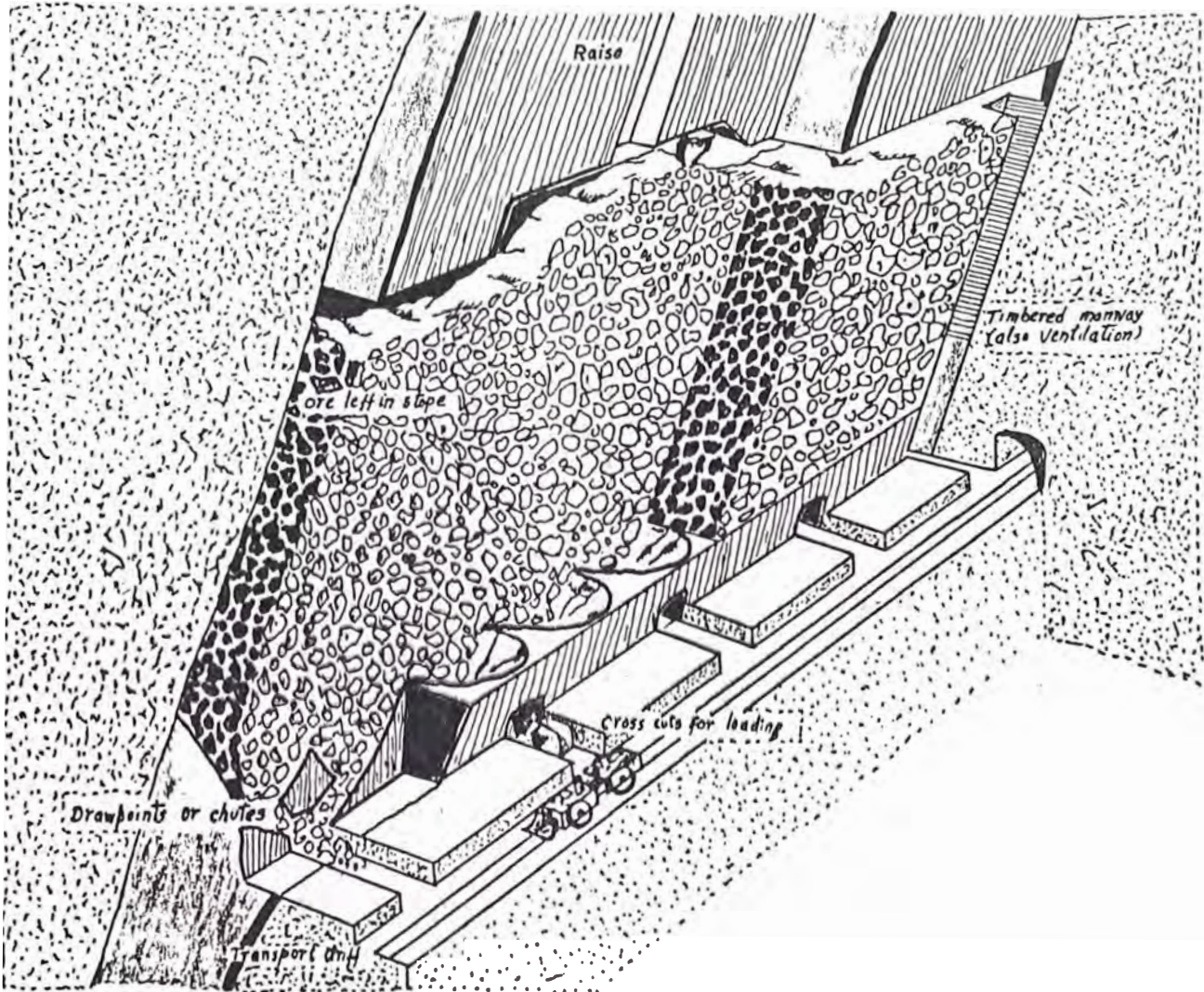
Como consecuencia de estos cambios se logró el incremento de producción a partir de octubre-95 de 1,200 Tn/día a 1,500 Tn/día con una ley promedio de cabeza de 5.5% de Sn con una lata productividad que refleja los logros obtenidos.

### **6.1 EXPLOTACION.-**

#### **6.1.1. Métodos de explotación.**

El método de explotación empleado hasta el mes de Agosto-95 fué el "SHIRINKAGE DINAMICO MECANIZADO" con equipos convencionales (Jack Leg BBC-16 W) (Ver Gráfico NQ7) el cual consistía en trabajos de desarrollo vertical, chimenea slot ó cara libre con máquinas chicas. Pero a partir de se-

SHRINKAGE DINAMICO



*Shrinkage Dinámico*

tiembre-95, después de una evaluación de las operaciones unitarias de la mina actual, se concluyó que puede mejorarse y/o mecanizar parte de la operación entre ellos la perforación y voladura de la explotación por ser la actividad de mayor incidencia en la productividad. Esto conlleva a un cambio en los métodos de explotación, viéndose que el método de "TAJEO POR SUB-NIVELES" (SUB LEVEL STOPING), era el que más se adecuaba a las características del yacimiento y que ofrece las siguientes ventajas y desventajas. (Ver Gráfico Nº 8).

NK 430

SLOOT

$h = 1.80$

17.40 m.  
 16.00 m.  
 14.40 m.  
 12.40 m.  
 11.00 m.  
 9.00 m.  
 7.00 m.  
 5.4 m.  
 3.2 m.

0

4 5 4 4 3 4 2 4 1 0

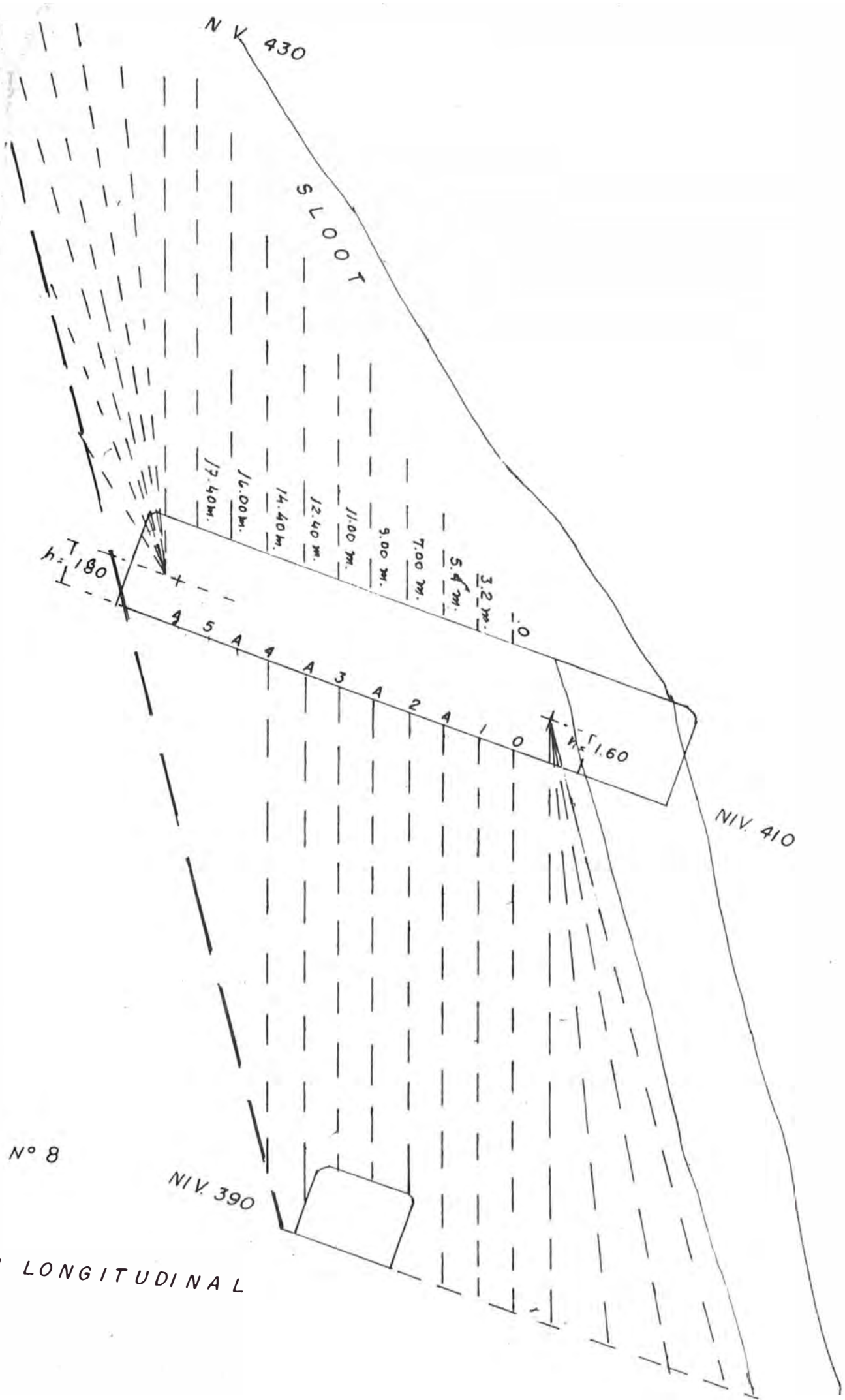
$h = 1.60$

NIV. 410

NIV. 390

GRAFICO N° 8

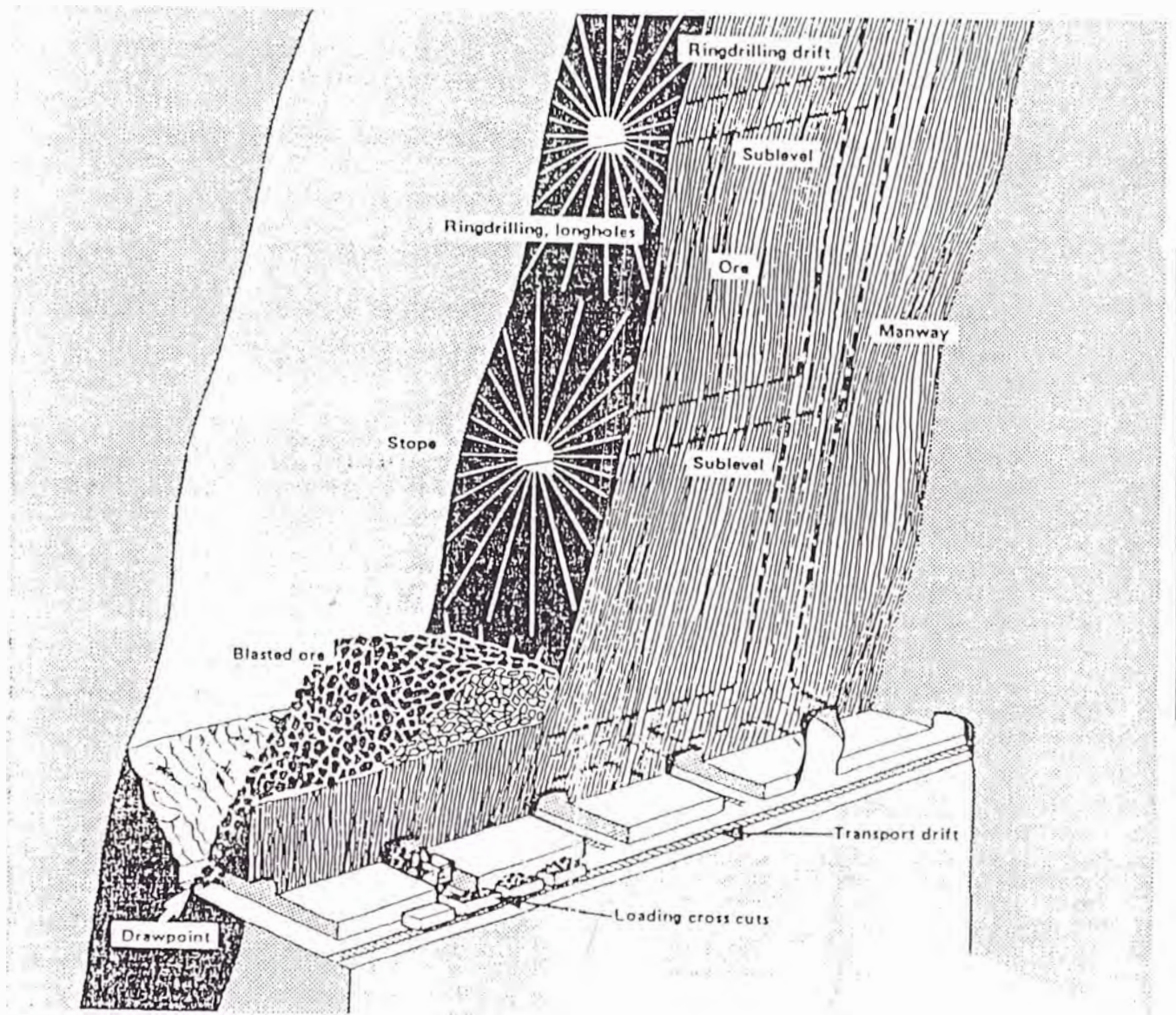
ACION LONGITUDINAL



VENTAJAS	DESVENTAJAS
1.- Alta productividad	1.- Requiere mayor conocimiento físico
2.- Buena recuperación de reservas	co de los límites de la mineralización.
3.- Seguridad para el personal y	2.- Menor selectividad en comparación
Equipo en cada una de las operaciones unitarias.	con corte y relleno.
4.- Simple mecanización de equipos.	3.- Mayor costo de preparación.
5.- Permite independencia entre perforación y voladura.	
6.- Menor costo de explotación	
resuelta a las otras variantes.	
7.- Uso de agentes de voladura a granel por ser diámetros mayores de	
2.5".	

Para el sistema "Sub Level Stopping", el diseño de la mina es en bancos de 25 mts. de altura y los niveles principales de producción es cada 100 m. de altura. (Ver Gráfico Nº 9).

Para la producción actual se cuenta con los siguientes equipos.



Sublevel stoping with ring drilling as the primary means of breaking ore.

EQUIPO	ACTIVIDAD
- 1 SIMBA H 157	- Perforación taladros largos hacia
- 1 Dow THE HOLE (D.T.H.)	arriba.
- 3 ROMPE BANCOS MARCA MENT	- Perforación taladros largos hacia
	abajo.
- 3 SCOOPTRAMS de 3.5 y de 3	- Rompe bancos de tajeos
(Incluye 1 en Stand By)	
- 5 VOLQUETES VOLVO DE 24 Ton.	- Acarreo de mineral
(Incluye 1 en Stand By)	- Transporte de mineral a superfi-
	cie.

### 6.1.2. Perforación.

La perforación para la producción se lleva acabo con dos equipos en forma combinada con el SIMA H-157 y el DOW THE HOLE TUNEL 60 (D.T.H.), la perforación con cada uno de estos equipos se realiza la combinación de la siguientes manera:

**DOW THE HOLE (D.T.H.)**, perfora hacia abajo usando mallas cuadradas de 2.00 mts x 2.50 mts. cuyos taladros son de 3 ½" de diámetro y longitudes en promedio de 22 mts., este equipo puede perforar hacia arriba pero la incon-

veniencia se tiene en la voladura, debido a que se usa el ANFO y éste no combina óptimamente en taladros mayores a 2 ½" de diámetro, en taladros hacia arriba Ver Gráfico Nº 10.

Las características técnicas de este equipo son las siguientes:

El túnel 60, es un Track Drill compacto, de accionamiento neumático, especialmente diseñado para perforación con sistema Down The Hole, en labores de los siguientes componentes:

**CHASIS:** Rígido, con oruga accionadas por motores neumáticos VM10, sin embargo, de frenado automático al cortarse el suministro de aire.

La estabilidad del chasis al estar estacionado en el punto de perforación es asegurado por dos gatos hidráulicos 500115 en la parte delantera del equipo.

**TORNAMESA:** Permite posesionar la columna de perforación en los 360°, para perforar en cualquier dirección.



LLA DE PERFORACION D. T. H.

DIAMETRO DE PERFORACION = 3.5" METROS LINEALES PERFORADOS/SECCION = 199  
 BURDEN/SECCION = 2.0 m. AREA/SECCION = .467 m<sup>2</sup>  
 ESPACIAMIENTO SECCION = 2.5 m. T.M.H./SECCION = 2,522  
 No TALADROS/SECCION = 09 INDICE DE PERFORACION TM/M = 13

8 7 6 5 4 3 2 1 NIV. 410



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
GRAFICO	Nº 10
DIBUJO	JUAN LIZANA H.

**COLUMNA:** Para cambios de Barras de 1.5 mts. de largo, desplazable, longitudinalmente con una carrera de 520 m/m por medio de un gato hidráulico 500116 y otro hidráulico 500143 de la misma carrera para fijarle a las cajas o al techo de las galerías.

**ROTACION:** Accionado por motor neumático, modelo F694.

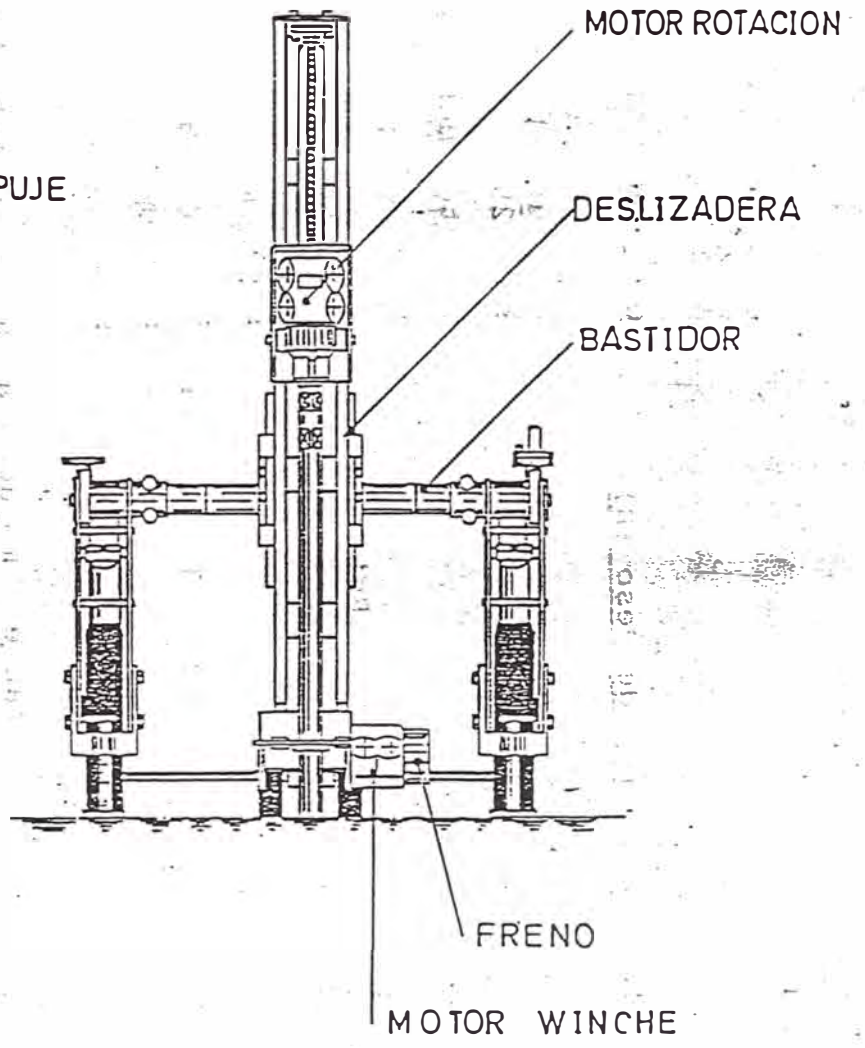
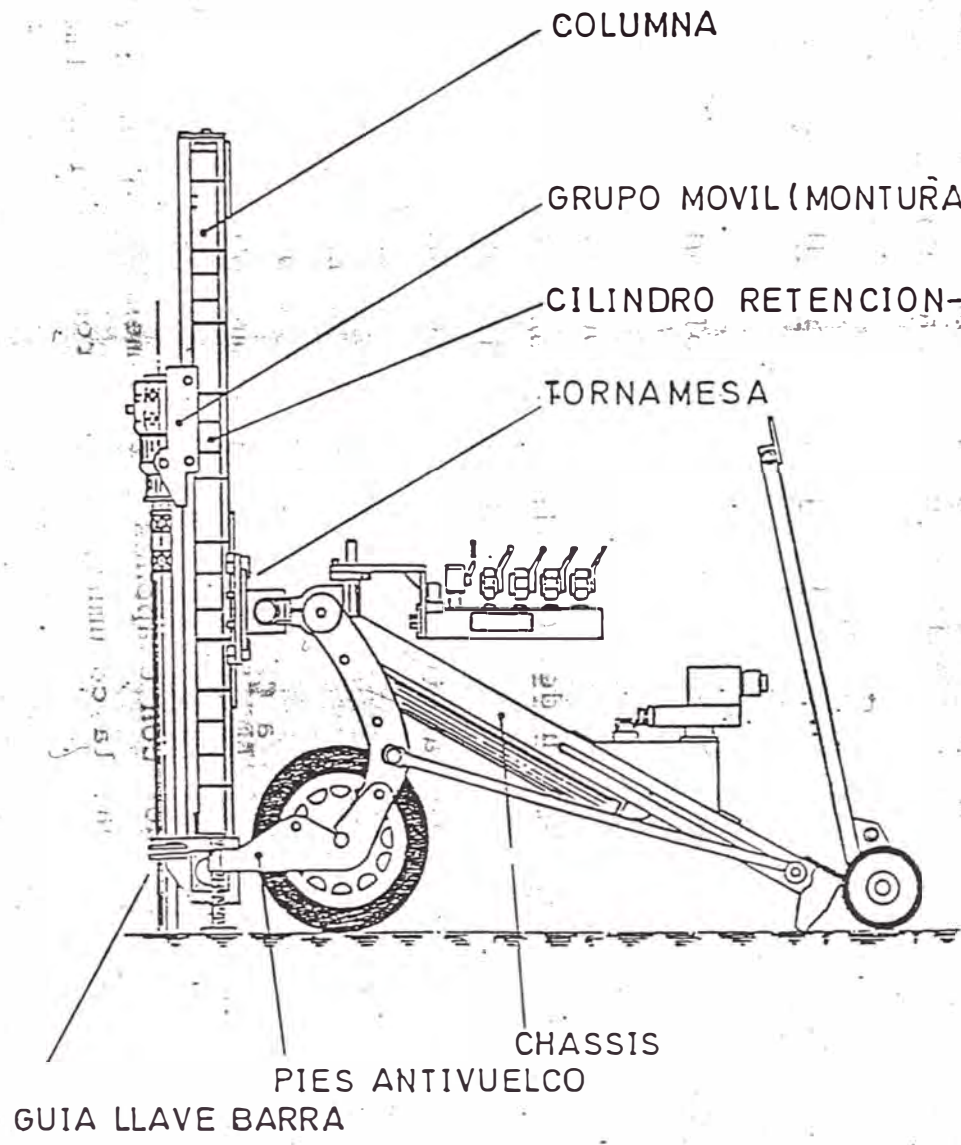
**AVANCE Y RETROCESO:** El tren de perforación es accionado por motor Winche Neumático, modelo F595 de frenado automático.

**CONTROL DE PESO:** Patentado para efectuar la retención y empuje del tren de perforación.

**BOMBA HIDRAULICA:** Accionada por motor neumático VM6 para el posicionamiento de los gatos Hidráulicos.

**CIRCUITO DE AIRE:** Independientes para motores a 100 PSI máximo y 250 PSI, para el funcionamiento del martillo.

**TABLERO DE MANDOS:** Abatibles para la función Perforación y Transporte respectivamente.



COMPONENTES PRINCIPALES

GRAFICO Nº 11

### **DIMENSIONES.**

Ancho 1.50 mts.  
Largo Posición de transporte: 2.88 mts.  
Largo con columna en posición 2.50 mts.  
Vertical Máximo  
Altura en posición de Transporte 2.50 mts.  
Altura con Columna en Posición 2.96 mts.  
Vertical.  
Peso 1.750 Klg.

(Ver Gráfico Nº 11)

**SIMBS H-157.** La perforaciones que normalmente se realizan con este equipo es hacia arriba siendo las perforaciones en abanico y paralelo cuyos diámetros de los taladros perforados son de 2 ½" con longitudes promedios de 20 mts.

Este equipo puede perforar en un ángulo de 360°, pues la inconveniencia que se tiene en perforaciones hacia abajo es con respecto a la alta velocidad de barrido de la barra de perforación, que no permite la expulsión de los distritos con facilidad el cual ocasionan un atascamiento en las barras de perforación.

Las características técnicas de este equipo son las siguientes:

#### **VEHICULO PORTADOR**

Motor diesel.- Deuts F3L 912W.

Bombas de sistema de transmisión.- Hydromatic A4V 56DA.

Motor de sistema de transmisión.- Hydro-matic A6VM 55EL.

Caja de engranajes.- Hurth 300.

Eje de ruedas.- Hurth 171.

Frenos de desplazamiento.- Freno de disco hidráulicos sumergidos en baños de aceite en las 4 ruedas. Sistema de circuito doble.

Freno de estacionamiento/emergenc.- Hidráulico mecánico en la 4 ruedas.

Neumáticos.- 7.50 R15 XZR

Presión neumáticos.- 0.8 MPa(8bar).

Baterías.- 2 x 12 V 70 Ah.

Conexión a tierra.- Polo negativo.

#### **SISTEMA DE PERFORACION**

Bomba hidráulica.- Rexroth A10V 71 + bomba de rueda dentada CM3R COM D135.

Motor eléctrico, bomba hidráulica.-37  
KW.

Voltajes primarios.-380/420/440/-  
500/550/600 V.

Frecuencia.- 50/60 Hz.

**PESO TOTAL (kg)**

Simba H 157.- 7,900

**PESO DE COMPONENTES (Kg)**

Vehículo portador DC4.- 3,650

Brazo hidráulico BUT 4 (exclusive desli-  
zadero).- 1,050

Bastidor sección de brazo.- 1,240

Bastidor sección de motor.- 450

Motor diesel.- 300

Ejes de ruedas.- 160

Depósito de aceite hidráulico inclusive  
aceite.- 140

Bomba hidráulica y motor eléctrico.- 340

Carrete de cable (exclusive cable).- 150

**VOLUMEN (Litro).**

Motor diesel, aceite.- 8.0 (cambio de  
aceite) - 9.5 (total)

Caja de engranajes aceite.- 2.4 (cambio de aceite)

Depósito de aceite hidráulico, máximo. 120

Depósito de combustible.- 40

Eje de ruedas.- Engranajes central 4.5 - 5.0. Engranaje cubo, cada lado 0.2

Cuerpo de brazo.- 2.0 - 2.5 (cambio de aceite).

- **USANDO PERFORADO COP 1238 DE ATLAS COPCO.**

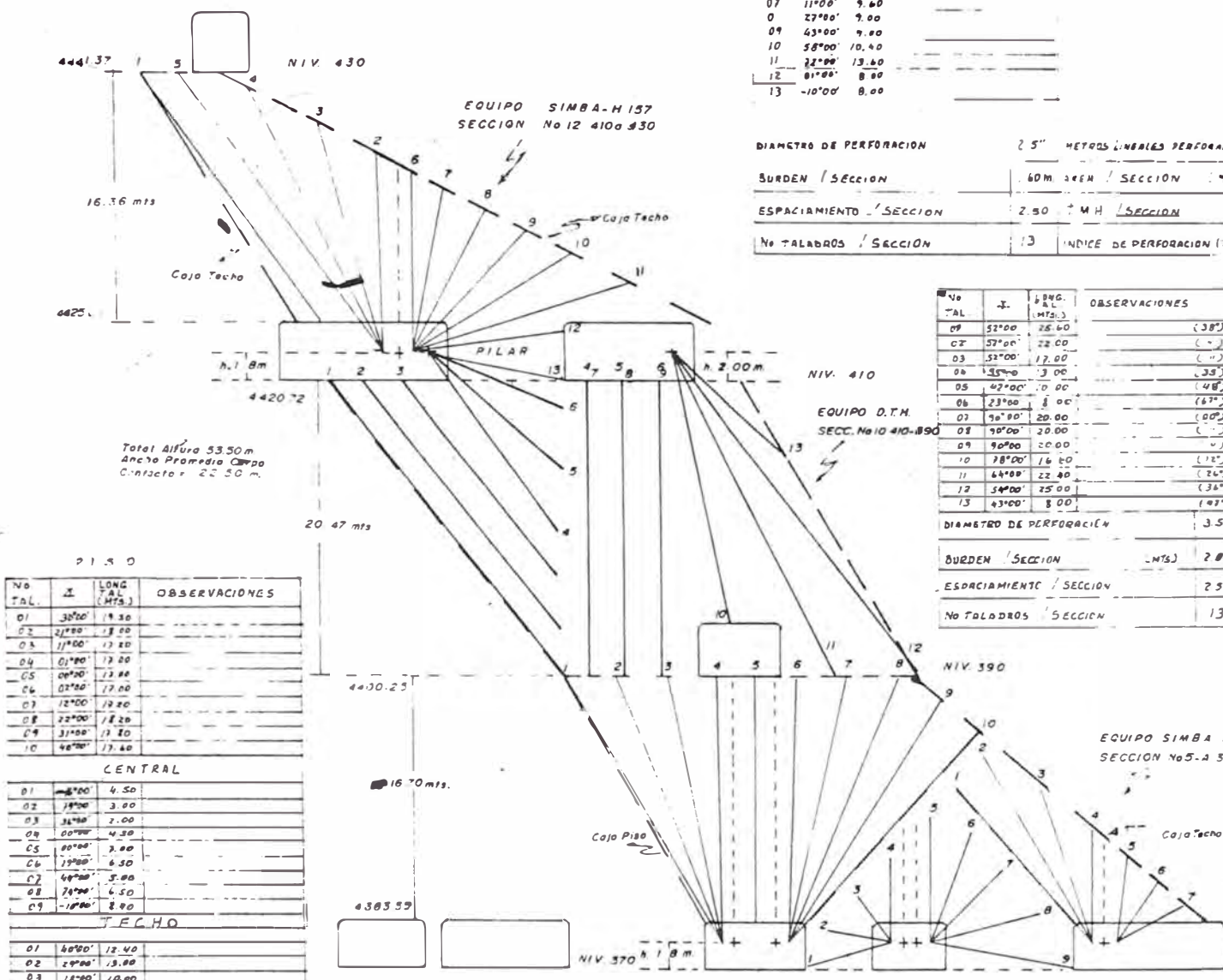
Tres Modelos Básico. COP 1238

PERFORACION	PRESION HIDRAULICA, MAX.		FUERZA DE IMPACTO MAX.		FRECUENCIA DE IMPACTOS	LONGITUD		PESO	
	BAR	PSI	Kw	Hp	Golpes/min	m	pul.	Kgs	Lb.
COP 1238 HF	250	3635	14	18.8	6000	1002	39.5	150	331
COP 1238 ME	250	3635	15	20.1	2400 - 3600	1002	39.5	151	333
COP 1238 LP	240	3480	18	24.1	2880 - 4800	1002	39.5	150	331

La combinación de éste equipo en la perforación de taladros largos forma un anillo para la voladura la cuál podemos ver en la gráfica Nº 12 con detalles necesarios.

También cabe mencionar que el diseño de malla

CORTE A-A'  
SECCIONES



No	ANG. TAL.	LONG. TAL. (MTS.)	OBSERVACIONES
01	90°		(53°)
02	02°00'	11.40	
03	16°00'	13.40	
04	23°00'	17.20	
05	36°00'	20.70	
06	00°00'	10.40	
07	11°00'	9.60	
08	27°00'	9.00	
09	43°00'	9.00	
10	58°00'	10.40	
11	22°00'	13.60	
12	01°00'	8.00	
13	-10°00'	8.00	

DIAMETRO DE PERFORACION	2.5"	METROS LINEALES PERFORADOS/SECCION	161.30
BURDEN /SECCION	1.60 M <sup>2</sup> AREA / SECCION		299.69
ESPACIAMIENTO /SECCION	2.50 T.M.H. /SECCION		1,214.53
No TALADROS /SECCION	13	INDICE DE PERFORACION (T.M.H./MT)	7.50

No TAL.	ANG. TAL.	LONG. TAL. (MTS.)	OBSERVACIONES
01	52°00'	25.60	(38°)
02	57°00'	22.00	(-)
03	52°00'	17.00	(-)
04	35°00'	3.00	(33°)
05	07°00'	10.00	(48°)
06	23°00'	8.00	(67°)
07	90°00'	20.00	(00°)
08	90°00'	20.00	(-)
09	90°00'	20.00	(-)
10	78°00'	16.40	(12°)
11	64°00'	22.40	(26°)
12	54°00'	25.00	(36°)
13	43°00'	8.00	(07°)

DIAMETRO DE PERFORACION	3.5"	METROS LINEALES PERFORACION/SECCION	227.60
BURDEN /SECCION	2.80 M <sup>2</sup> AREA / SECCION		589.36
ESPACIAMIENTO /SECCION	2.50 T.M.H. /SECCION		2,577.33
No TALADROS /SECCION	13	INDICE DE PERFORACION (T.M.H./MT)	11.32

No TAL.	ANG. TAL.	LONG. TAL. (MTS.)	OBSERVACIONES
01	30°00'	9.30	
02	27°00'	13.00	
03	17°00'	13.20	
04	07°00'	13.00	
05	00°00'	13.00	
06	02°00'	17.00	
07	12°00'	19.20	
08	22°00'	18.20	
09	31°00'	13.20	
10	40°00'	13.40	

CENTRAL			
No	ANG.	LONG.	OBS.
01	05°00'	4.50	
02	19°00'	3.00	
03	36°00'	2.00	
04	00°00'	4.30	
05	00°00'	3.00	
06	19°00'	6.50	
07	40°00'	5.00	
08	70°00'	6.50	
09	-10°00'	8.20	

TECHO			
No	ANG.	LONG.	OBS.
01	40°00'	12.40	
02	29°00'	13.00	
03	18°00'	10.00	
04	00°00'	6.80	
05	07°00'	11.50	
06	30°00'	3.20	
07	60°00'	2.20	

DIAMETRO DE PERFORACION	2.5"	METROS LINEALES PERFORADOS / SECCION	176.50	CENTRAL	47.40	TECHO	52.70	TOTAL	276.60
BURDEN /SECCION	1.60	AREA /SECCION	301.40		132.76		25.32		519.48
ESPACIAMIENTO /SECCION	2.50	T.M.H. /SECCION	1,230.53		541.66		348.11		2,120.29

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

EQUIPO: SIMBA H-157 y DTH

GRAFICO N° 12



de perforación está basada en el modelo matemático del Dr. R. Ash, con la cual se desea lograr una buena fragmentación que nos permita mantener ó mejorar los niveles de eficiencia en el carguío, al aplicar la ecuación del Dr. R. Ash. se tiene cinco stándares básicos disponibles, que nos ofrece el modelo, pero hay reacciones sin dimensiones que no consideran por no adaptarse a nuestro requerimiento éstos son:

Relación de sobre perforación (Kj).-

Como los taladros son inclinados en forma de abanico no se requiere sobre perforación y sin el taladro comunica el nivel superior para la voladura no hay problema ya que estos casos se coloca el tope tapones.

Radio de profundidad del taladro (Kh).-

Igualmente no se adapta a nuestros requerimientos debido a que se perfora taladros mayores de 30' hasta 98'.

Mientras que los stándares para el espesor (Kb), espaciamiento (Ks), y atacado (Kt) son calculados de acuerdo a las condiciones del terreno, explosivo y

equipo de perforación.

### 6.1.3. Voladura

La voladura se realiza por anillos, los cuales pueden ser de hasta 5 anillos a una sólo dependiendo principalmente de la necesidad de cumplir el trabajo diario, la voladura se avanza desde el slot ubicado hacia la caja techo, avanza hacia la caja piso el cuerpo mineralizado.

La coladura por explotación es 100% de taladros largos en los cuerpos ore shoot y contacto así como en veta en los niveles 410 y 430.

#### CANTIDAD DE EXPLOSIVO:

En nuestro caso se está usando ANFO, dadas las condiciones para el uso de estas agente de voladura. Para el calculo de carga se emplea la siguiente ecuación.

$$Et = dc \times Pc$$

$$dc = 0.34 \times De^2 \times SG$$

Donde:

$d_c$  = Densidad de carga lbs/pie ó kg/m.

$E_t$  = Cantidad de explosivo por taladro

$S_G$  = Gravedad específica gr/cc

$D_e$  = Diámetro del taladro en pulg

$F_c$  = Longitud de carga pie ó met.

Aplicando estas ecuaciones y teniendo algunos consideraciones a las constantes de Dr. R. Ash se obtiene como promedio de carguío en lo taladro largos.

$$E_t = 16 \text{ Kg ANFO/tal.}$$

y un factor de potencia de

$$F_p = 0.28 \text{ Kg ANFO/Ton.}$$

#### **DISTRIBUCION DE CARGA:**

En la práctica la distribución de carga en el taladro se efectúa de la siguiente manera:

En los taladros en abanico, (hacia arriba) se carga hasta las  $3/4$  partes con ANFO, pero se usa dos iniciadores, uno al fondo del taladro y el otro en la mitad del taladro, esto es para ayudar a iniciar a lo largo del taladro, ya que se ha tenido en la práctica deficiencias con el uso de un sólo iniciador, y al final se usa un taco de arcilla plastificada.

Mientras que con los taladros hacía abajo el carguío se efectúa también hasta las  $3/4$  partes del taladro, siendo la variantes en este caso el uso de taco de arcilla plástica en el intermedio y al final, para mejorar la fragmentación con la voladura. Ver gráfico N<sup>o</sup> 13 y 14.

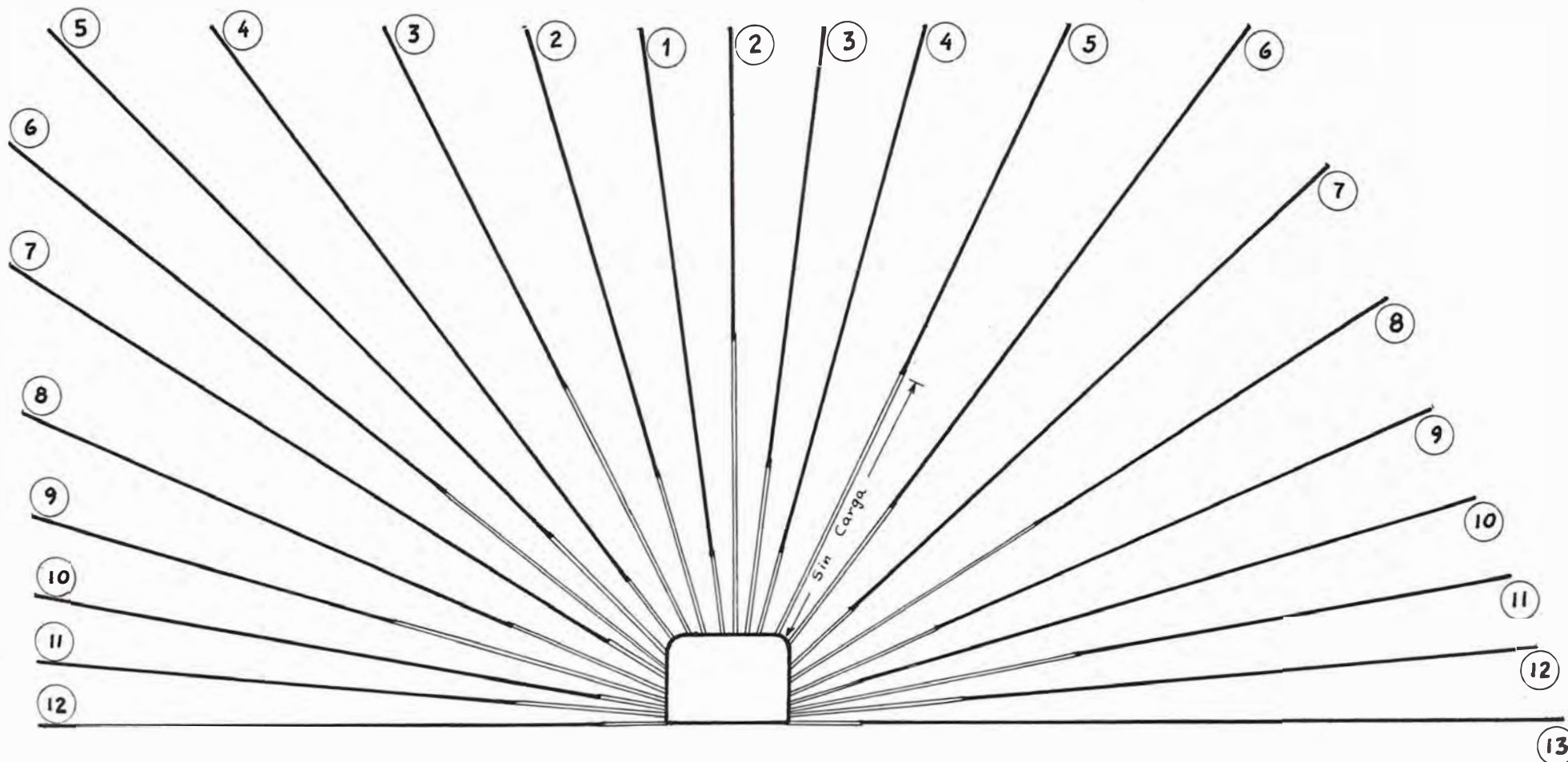
#### **ACCESORIOS DE VOLADURA.**

Para la voladura en taladros largos con ANFO se utilizan los siguientes accesorios de voladura.

Fulminante Fanel (período corto) cada 8 mts. de columna de ANFO.

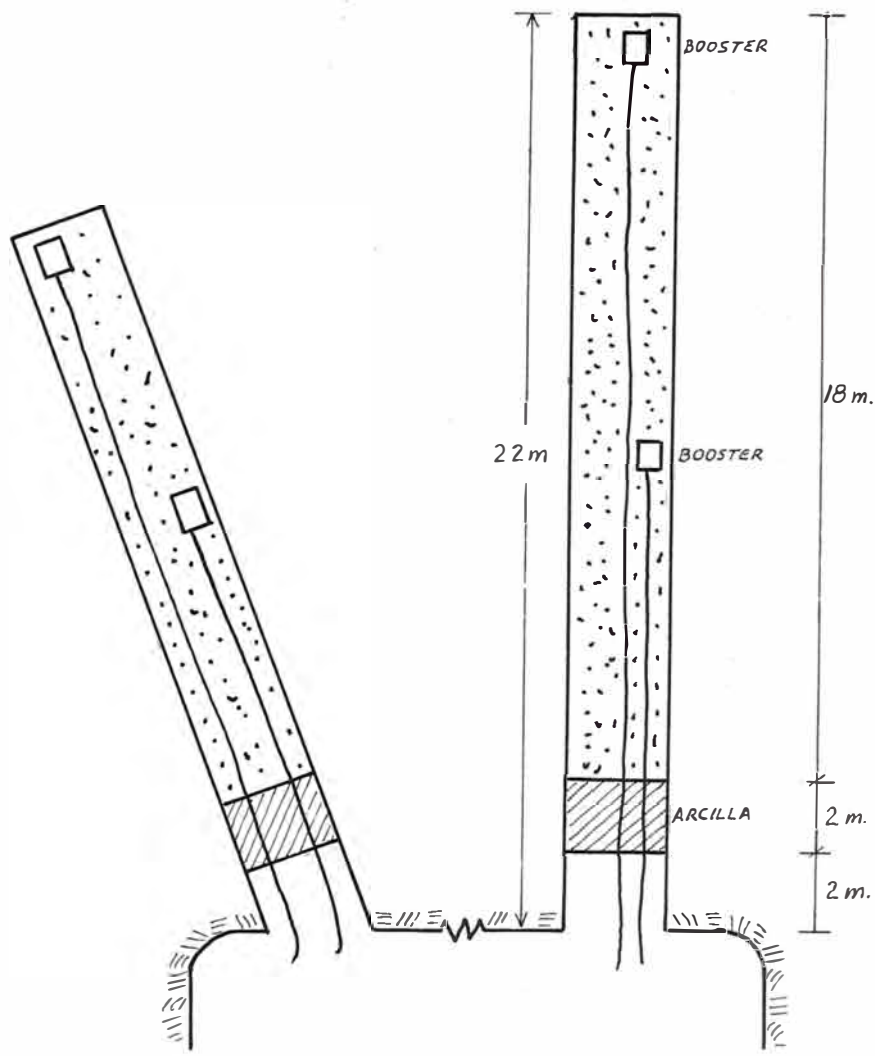
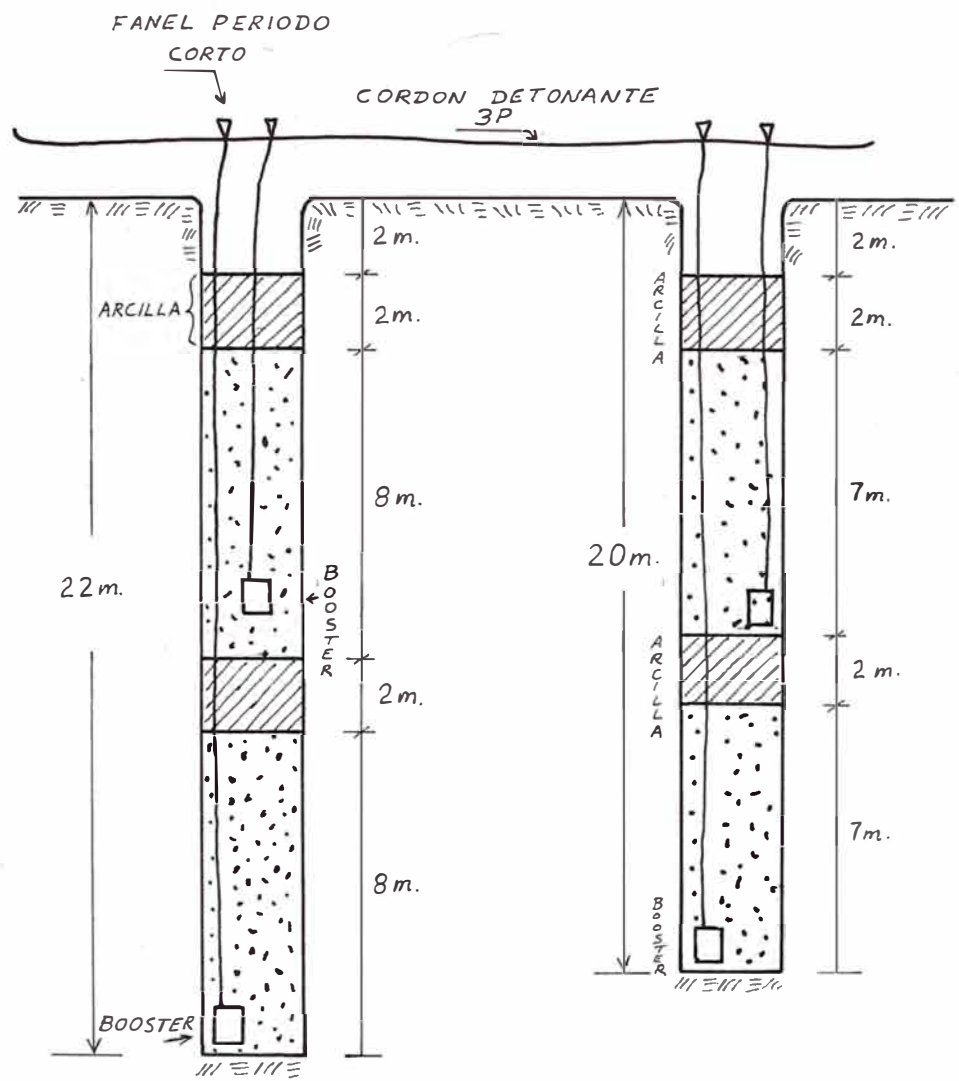
Iniciador Booster de  $1/3$  libra de  $1\frac{1}{2}$ " diámetro.

ANFO 16 kilos como promedio por taladro.



**SISTEMA DE CARGUIO EN  
TALADROS LARGOS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
FIGURA	Nº 13
DIBUJO	JUAN LIZANA H.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FIGURA

Nº 14

DIBUJO

JUAN LIZANA H.

Espaciadores de madera  $1\frac{1}{2}$  x 1 mt. para evitar la concentración de carga en los anillos.

Pentacro 3P y 5P.

El cargador de taladro se realiza con un cargador Neumático de ANFO tipo JET-ANOL TK-100. Ver gráfico N<sup>o</sup> 15

#### **VOLADURA SECUNDARIA.**

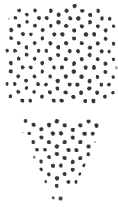
En la rotura de mineral con el sistema de taladros largos se obtiene un barqueo de 8% de mineral, que requieren voladura secundaria bajo la forma de "vence" ó "cachoreo".

El vence se realiza con los rompedores de banco RBM-150 y RBM-225. Explosivos diseñados especialmente para este fin.

El consumo requerido por mes es de 4,800 y 3,200 unidades respectivamente.

#### **6.1.4. Productividad y Costos.**

Como resultado de los cambios realizados en el método de explotación, se pueden ver en los siguientes cuadros la diferencia que existe entre el método anterior y el actual.



# JET-ANOL

- For charging of blastholes with diameters 32 to 51 mm (1 1/4 to 2").
- Charging can be done in holes drilled straight upwards
- Charging density between 0.9 and 1.1 kg/cu.dm. (litre)
- Remote-controlled operation

The JET-ANOL is a combined ejector and compressed-air unit for the charging of prilled ANFO (Ammonium Nitrate and Fuel Oil) into drill holes with diameters 32 to 51 mm (1 1/4" to 2").

The ANFO can be charged in vertical holes drilled straight upwards. The ejector gives the individual prills such a high velocity that they are crushed in the drill hole. They remain firmly inside.

## Technical description

Practical tests have shown that excellent results are obtained by using the JET-ANOL system to charge ANFO. In connection with tunnelling and drifting, the holes in the contour row and the row next to it can become overcharged since these holes are sometimes of too large a diameter. When the quality of the surrounding rock is an important factor, a weaker charge is recommended in these holes.

The JET-ANOL provides a charging density of 0.9 - 1.1 kg per cu.dm. (2.0 - 2.5 lbs./litre), with an average value of 1.0 kg 2.2 lbs. per litre.

Charging capacity varies from 15 to 20 kg (33 - 44 lbs.) per minute, depending on the size and length of the charging hose used. Standard sizes of hose: 22 - 26 mm (7/8 - 1); lengths varying from 10 to 40 metres (33 to 130 ft).

Both the ejector and the flow of material is controlled remotely by the operator by means of a hand-operated valve. This means, that one man can handle the entire charging operation.

The pressure vessels for JET-ANOL can be mounted in the same type of stand as for ANOL, made of tubular profiles of stainless steel.

JET-ANOL-100 has a stand mounted on two wheels 16x4" with pneumatic tyres. The JET-ANOL-150 stand is mounted on two such wheels plus a swivel castor 12x4" with pull rod. JET-ANOL-300, -500 and -750 have a four leg stand with a base plate for mounting onto a truck or other vehicle.

The JET-ANOL unit can also be delivered without any stand, i.e. as a separate pressure vessel plus fittings.

## Technical specification

GRAFICO N° 15

The ANFO explosive is highly corrosive and therefore all vital parts of the JET-ANOL are made of stainless steel. The JET-ANOL unit is manufactured in accordance with Swedish regulations for pressure vessels. It has been approved for use by the Swedish Board of Occupational Safety and Health.

Each pressure vessel is tested and inspected before being marked with a plate showing serial number and the maximum working pressure. JET-ANOL units are available in standard sizes of 100, 150, 300, 500 and 750 litres.

Air consumption: 1.8 cbm/minute.



**Nitro Nobel**  
S-710 30 GYTTRÖP,  
Sweden.



Phone (+46)-587 85 000  
Telex 73132 nobelin S



## ROCMEC system

### ANOL®

charging equipment for rational handling of ANFO

- For blastholes with diameters 25 to 150 mm (1" to 6")
- Charging in all directions (in upward holes of up to 51 mm diameter)
- Charging density between 0.9 and 1.1 kg/lt
- Remote-controlled operation
- Charging capacity up

to 100 kg/min

ANOL is a compressed-air unit for charging ANFO into blastholes with diameters from 25 to 150 mm (1" to 6") in all types of blasting operations.

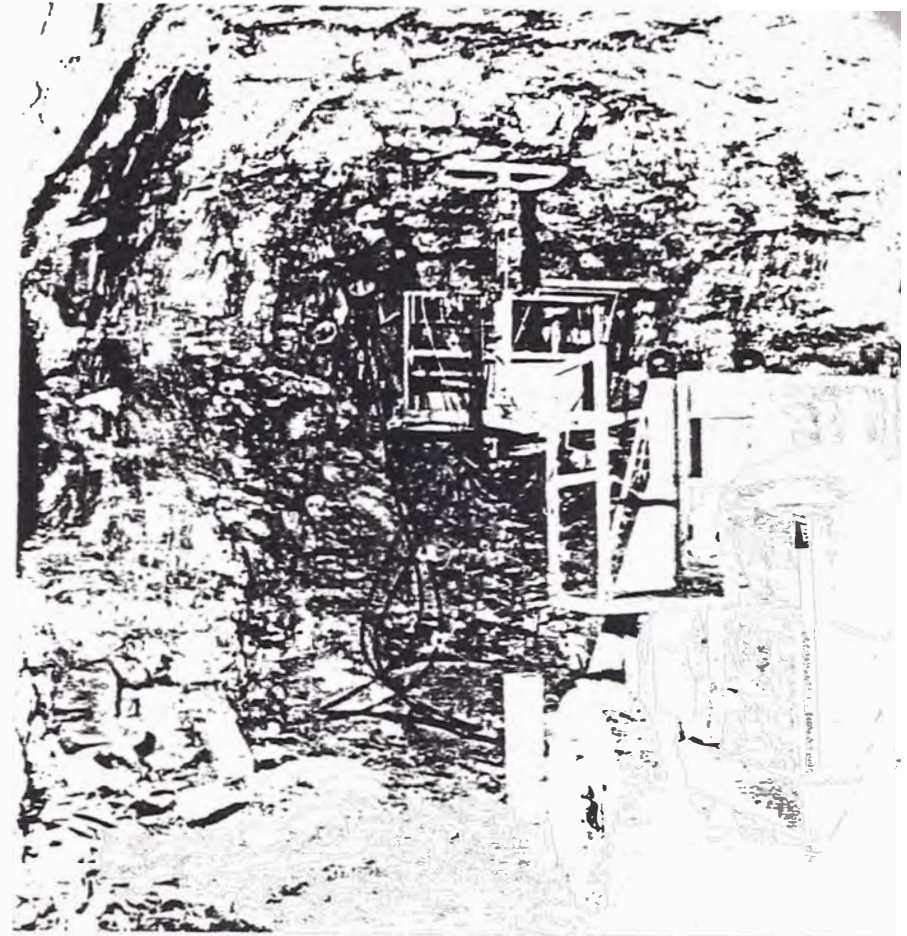
Crystalline ANFO, or 50/50 crystalline/prilled ANFO, can be charged in all directions; in upward holes of up to 51 mm diameter. Prilled ANFO can be charged in blastholes with an inclination of up to 30° without falling out.

### Technical information

ANOL/ JET-ANOL	Volume litre	ANFO capacity kg		Dimensions m incl frame			Weight kg
		prilled	crystalline	Depth	Width	Height	
-100	100 / 22	80	100	1.30	1.00	1.40	80
-150	150 / 33	125	150	1.30	1.20	1.60	90
-300	300 / 66	250	300	1.10	1.10	2.00	160
-500	500 / 110	400	500	1.30	1.30	2.30	240
-750	750 / 165	600	750	1.30	1.30	2.30	290



## ROCMEC system



### JET-ANOL®

- For charging blastholes with diameters 32 to 75 mm (1 1/4" to 3")
- Vertical upward charging is possible
- Charging density between 0.9 and 1.1 kg/lt
- Remote-controlled operation
- Charging capacity up to 35 kgs/min

JET-ANOL is a combined ejector and compressed-air unit for charging prilled ANFO into drill holes with diameters 32 to 75 mm. The ANFO can be charged in vertical upward holes. The ejector gives the individual prills such a high velocity that they are crushed in the drill hole.

GRAFICO N° 16

CUADRO DE RENDIMIENTO EN SHERINKAGE

RUBROS	GRADINES INVERTIDOS	TALADROS VERTICALES CON AYUDANTE	TALADROS VERTICALES SIN AYUDANTE
PERFORISTAS POR DIA	36	36	18
PIES PERF. POR H. GUAR- DIA	40	52	127
T.M.S. PERF. FOR H.G.	13	22	51

CUADRO COMPARATIVO DE RENDIMIENTO POR SUB-NIVELES

EQUIPOS	OPERADOR POR DIA	TIEMPO PE- RF.x BARRA (MIN)	TIEMPO CAMBIO BARRA (MIN)	TIEMPO CAMBIO DE ESTAC.	VELOCI- DAD M/MIN	TMS x MT.	TM PERF. x H.G.	TM PERF. x GUARDIA	TM PERF. x DIA
SIMBA H - 157	03	1.33	0.83	0.8	0.69	6	672	112	2016
D.T.H. TUNEL 60	04	3.25	1.25	15	0.33	13	338	52	1352
TOTAL	07	2.23	1.04	11.5	0.45	9.5	481	164	3368

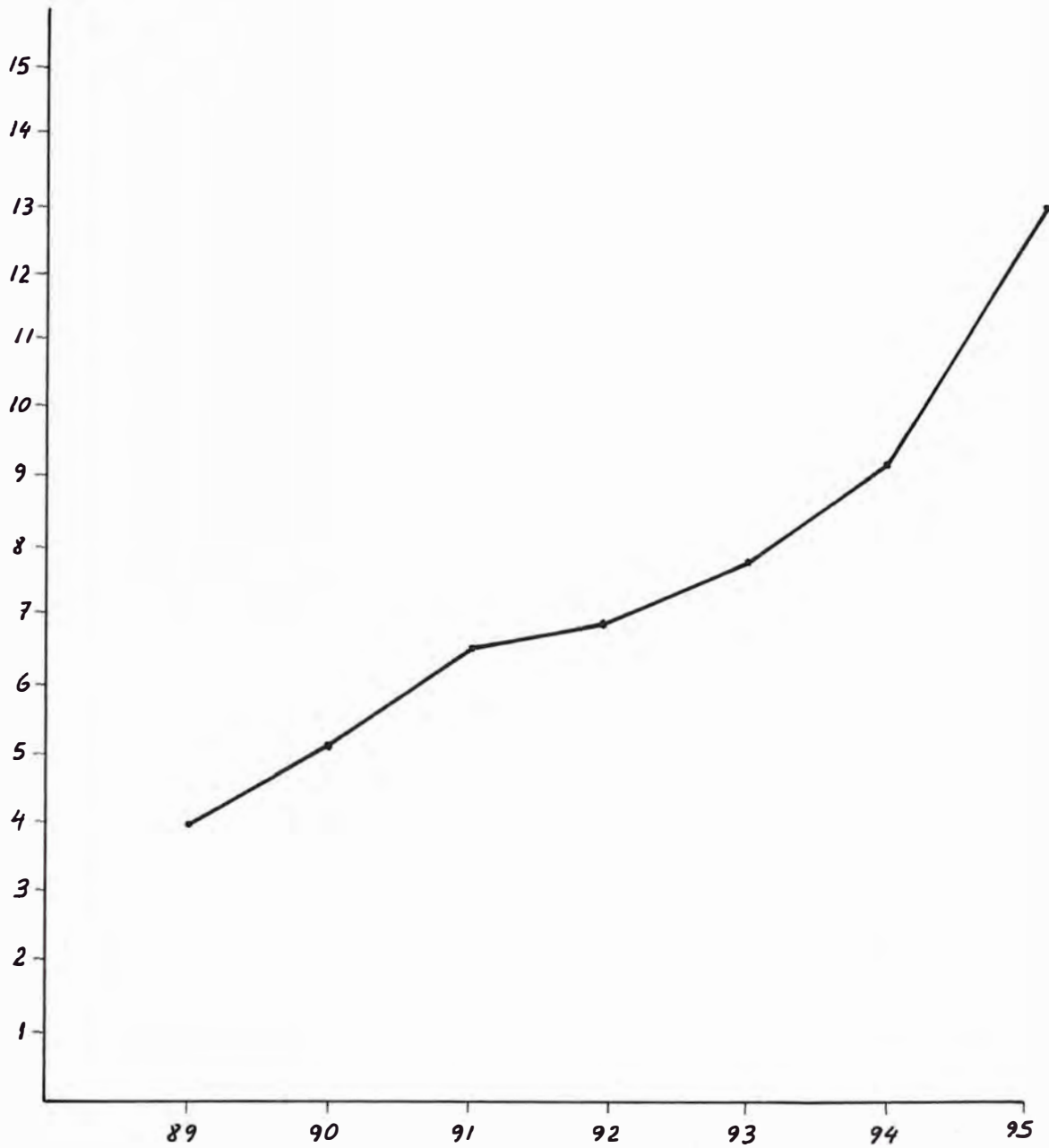
ANALISIS COMPARATIVOS DE COSTO DE PERFORACION EN PRODUCCION

- 1) NEUMATICA : A.C. BBC - 16W  
 VERSUS  
 2) NEUMATICA : LONG HOLE DRILL WAGON (L.H.D.W.)  
 VERSUS  
 3) HIDRAULICO : SIMBA H-157

	A.C.BBC-16	L.H.D.W	SIMBA H
INVERSION US\$A	5,105	50,800	428,243
ROTACION DE ALIMENTACION (5)	360	360	360
ALTURA DE CENTRO DE ROTACION	LIBRE	1.40	1.80
LONGITUD DE BARRA (m)	2.10	1.20	1.50
RENDIMIENTO (mts/ton)	36	48	120
DISPONIBILIDAD MECANICA %	85	85	85
CAPACIDAD MENSUAL (m)	2,333	3,110	7,760
INDICE DE PERFORACION (ton/m)	1.67	6.00	6.00
PERFORISTA POR MAQUINA	1	1	1
COSTO DE OPERACION (US\$/m)	2.90	5.18	3.25

*PRODUCTIVIDAD MINA*

TMS/HG



AÑOS PROD.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FIGURA

Nº 17

DIBUJO

JUAN LIZANA H.

## 6.2. DESARROLLO Y PREPARACIONES.-

El desarrollo y preparación de los niveles de perforación es la fase con mayor incidencia en el costo como en el tiempo de preparación.

La preparación se hace desarrollando galería de 4 x 3.5 cada 20 m. y cada 80 m., una galería paralela a la veta lo que es unido con estocadas y sirve como galería de extracción.

El desarrollo se tiene avanzando la rampa 523 con pendiente negativo de 10% con una sección de 4 x 5 m<sup>2</sup> la cuál lleva una longitud aproximado de 3,500 mts. Siendo el avance de este frente \*\*\* importante debido a la importancia de reservas de mineral que se logra a través de este desarrollo.

### 6.2.1. Perforación.

Los labores de desarrollo y preparación con sistema TRACKLESS se realizan utilizándose para la perforación un Jumbo Hidráulico Boomer H-127; recientemente se adquirió un Jumbo Hidráulico Boomer H-282 el cuál se dedicará al avance de la Rampa 523.

Características del equipo de perforación son:

TIPO	JUMBO HIDRAULICO
MARCA	ATLAS COPCO
MODELO	H-127
Nº DE BRAZOS	02
TIPO DE PERFORADORA	COP. 1032 HD
Ø TALADROS PERFORADOS	41 mm.
Ø TALADROS DE ALIVIO	3"
Long. DE PERF. PROMEDIO	3.26 m.
VELOCIDAD DE ROTACION	0.838 m/min.

#### ACCESORIOS DE PERFORACION:

Barra de 13"                    R - 38  
 Barra de botones            R - 28 DP - 6  
 Broca escarladora        3" 0

#### MALLA DE PERFORACION:

Anteriormente se trabajaba con malla de taladros paralelos (Corte quemado), lográndose un promedio en eficacia del 85.2%, pero con la finalidad de mejorar nuestros parámetros de perforación y a la vez aprovechar las bondades que ofrece el Jumbo H 127, control automático de la longitud de perforación, alta velocidad de penetración, paralelismo etc., se está empleando el

método HOLMBERG con el cuál se logra un rendimiento de 94%.

El método HOLMBERG, empleado utiliza en el arranque un taladro de alivio de 3" de diámetro (76 mm), y esto se consigue perforando taladro piloto que luego es repasado con una broca escariadora acoplado a un adaptador de piloto.

- La profundidad del taladro a perforarse se determinó a partir de la ecuación:

$$H = 0.15 + 34.10 - 39.4 O^2$$

Donde:

$$O = 3" (76 \text{ mm})$$

$$H = 3.30 \text{ mt.}$$

Avance:

$$I = 0.94 H (\text{mts})$$

$$I = 3.10 \text{ Mt. (94\%)}$$

- Para el buen uso del método es importante tener en cuenta los siguientes consideraciones:

A.- Los taladros de arranque deben marcarse en el orden más homogéneo, teniendo cuidado en el paralelismo de los taladros con la orientación.

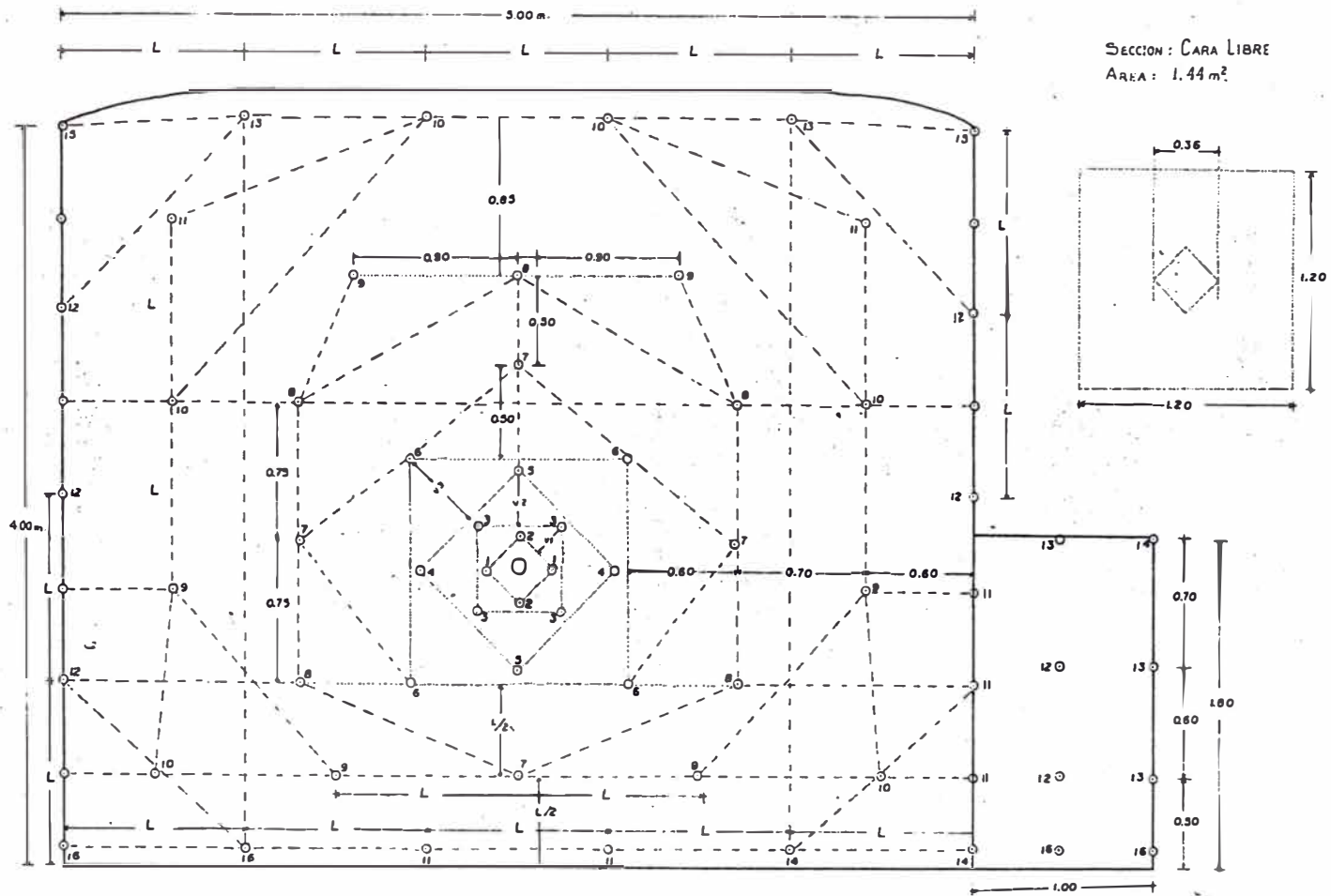


- B.- Los 17 taladros de arranque debe marcarse siguiendo los cuadrángulos y con los burdines calculados para crear el área mínima de 1.44 m<sup>2</sup>.
- C.- El arranque por taladros paralelos requiere gran precisión en la perforación, es imprescindible la presencia del ingeniero de turno, cuando se perfora por lo menos en los taladros de arranque. Cuando se corta alguna fractura, fijar los taladros del arranque en otra área favorable.
- D.- La planificación adecuada de las actividades de perforación con el Jumbo, permite lograr 4 disparos/día el mayor rendimiento de este equipo así mismo reducirá el costo en la perforación.

Para tener una mejor idea ver gráfico N<sup>o</sup> 16 la distribución de taladros.

### **6.2.2. Voladura.**

La voladura en esta labores de preparación y desarrollos generalmente se usaban con explosivos Gelatina Especial 75% y Semexa de 65%, pero que en los últimos tiempos se ha implementado el uso de ANFO masivamente dada las ventajas del agente de voladura.



VOLADURA NORMAL: 54 TALADROS.  
 VOLADURA CONTROLADA: 63 TALADROS.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

MALLA DE PERFORACION  
 METODO HOLMBERG

GRAFICO

Nº 18

DIBUJO

JUAN LIZANA H.

Actualmente hay dos forma de usar explosivos y/o ANFO en los frontones.

Rampa 523, es un frente de desarrollo, en esta labor no ha sido factible, el cambio de explosivos, se continua con el uso de Gelatina Especial de 75% y Semexa 65%, esto se lleva a cabo por varios años, se debe principalmente a la presencia de filtraciones de agua en gran cantidad. Que no permite el uso de ANFO.

Cálculo de carga en la voladura Rampa 523 con Gelatina Especial 75%.

#### **A.- DATOS GENERALES:**

Sección:  $5 \times 4 = 20 \text{ m}^2$

Longitud de taladro perforado:  $H = 3.30 \text{ mts.}$

Longitud de avance:  $I = 0.944$

$I = 3.10 \text{ mts.}$

Diámetro de taladro = 38,39,40,41 mm.

Diámetro de taladro de alivio = 3" (76 mm)

Número de taladros perforados = 57

Número de taladros disparados = 55

Fanel de 1 al 16

Dinamita Gelatina especial 75% (1 1/8" x 8")

Velocidad de detonación = 5,500 m/seg.

Densidad de explosivo - 1.32 Grs/cm<sup>3</sup>

Velocidad de penetración de roca (Boomer H 127) = 1.19  
m/min.

Tipo de roca medio competente

Factor de potencia = 1.3 a 1.5 Kgrs/m<sup>3</sup>.

Kgrs/mt = 0.813

**B.- CALCULO DE CARGA PROMEDIO POR TALADRO:**

Cantidad de carga (Qt) = 20 x 3.12 m<sup>3</sup> x 1.5 kgr/m<sup>3</sup>.

Qt = 93.6 Kgrs.

kgr/tal. = 1.7

Nº Cart.-tal = 10

**C.- TALADROS DE ARRANQUE:**

1.6 veces la carga promedio

luego 16 cartuchos/taladro

**D.- TALADROS DE ARRASTRE:**

Carga de fondo: 1.56 Kgrs

Retacado = 0.20 m.

Longitud de la carga de columna = 1.14 m.

Concentración de la carga de columna = 1.01 Kgrs.

Peso de la carga de columna = 1.15 Kgrs.

Carga de los taladros de arrastre = 15 cart./tal.

#### **E.- TALADROS CUADRADORES:**

Carga de fondo = 50 kg.

Zona de retacado = 0.30 m.

Longitud de la carga de columna = 2.3 m.

Concentración de carga de columna = 0.64 Kgrs.

Peso de la carga de columna = 1.47 kgr.

Carga de los taladros cuadradores = 12 cart./tal.

#### **F.- TALADROS DE TECHO:**

Carga de fondo = 0.50 kg.

Longitud de la carga de columna = 2.3 m.

Concentración de carga de columna = 0.56 Kgrs.

Peso de la carga de columna = 1.28 kgr.

Carga de los taladros del techo = 10 cart./tal.

#### **LABORES DE PREPARACION.**

Las labores de preparación generalmente son con gradientes positiva de 0.05%, en el cuál se a hecho un cambio en un 95% de uso de explosivo; anteriormente tan igual como en la rampa 523, se utilizaba Gelatina Especial de 75% pero ahora se utiliza ANFO, en casos muy excepcionales se deja usar este agente de voladura, con este cambio se ha logrado bajar costos y mejorar parámetros de perforación y voladura, tal es así que hasta el año

1990, el factor de carga obtenido era de 4.8 kgr/m<sup>3</sup>: mejorándose en el año 1992 a 3.2 kgr/m<sup>3</sup>, actualmente obtenemos un factor de 2.25 kgr/m<sup>3</sup> debido al cambio de malla de perforación y el uso de ANFO.

El cálculo de carga para taladros con ANFO se realiza con la siguiente ecuación.

$$dc = 0.34 \times De^2 \times SG$$

$$Et = dc \times Pc$$

Donde:

dc = Densidad de carga lbs/pie ó kg/m.

Et = Cantidad de explosivo por taladro

SG = Gravedad específica gr/cc

De - Diámetro del taladro en pulg.

Pc = Longitud de carga pie ó mts.

Entonces

$$Et = 0.329 \text{ lb/pie} \times 11 \text{ pie} = 3.62 \text{ lb} = 1.64 \text{ lb/tal}$$

$$Et = 1.64 \text{ lb ANFO/tal.}$$

Entonces el Factor de potencia - 2 kg/m<sup>3</sup>

Se deberá mencionar que con el uso de ANFO el factor de potencia baja de 2.25 kg/m<sup>3</sup> a 2.0 kg/m<sup>3</sup>; el cual conlleva en la reducción del costo de voladura.

#### ACCESORIOS DE VOLADURA

Los accesorios de voladura ya sea con el uso de gelatina, semexa ó ANFO son los mismos, entre ellos tenemos:

Mini-Booster BM-8

Fulminante Fanel período largo de 5 mts.

Cordón detonante pentacord 3P

Guía de seguridad

Fulminante N<sup>o</sup> 6 y 8

El carguío de taladro se realiza con el Fortanol

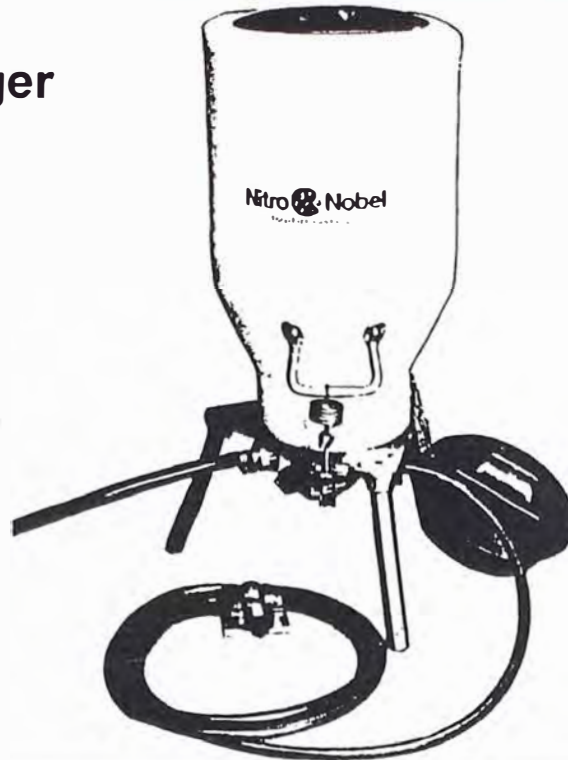
ver Gráfico N<sup>o</sup> 16.

**Technical specification**

**ROCMEC system**

**PORTANOL,  
ejektor charger**

Charging capacity  
up to 6,7 kg/ min.



**Feature**

- For blastholes with diameters up to 38 mm
- Charging in all directions and in a length up to 15 m.
- Charging density between 0.9 and 1.1 kg/ cu.dm
- Charging capacity up to 6,7 kgs per minute
- Remote controlled operation
- Approved for use by the Swedish National Board of Occupational Safety and Health

PORTANOL is a portable, pneumatic ejector assembly developed for efficient charging of Anfo prills into boreholes. The holes can be in all directions, and in lengths of up to 15 m. Examples of applications are drifting and raising, or other minor blasting operations.

PORTANOL is based on the ejector principle, i.e. the blasting agent is sucked from CIPAX polyethylene container and blown through a charging hose into the blasthole

PORTANOL is operated by one man. the ejector is remote controlled by a hand valve, connect with 5 meter air hose.

The ejector and control valve are built to ensure maximum reliability in operation and long service lifetime. A built-in vibrator prevents clogging, ensuring a continuous free flow of Anfo.

In the standard design, PORTANOL is mounted directly onto a plastic container

The PORTANOL is only approved for used with a antistatically tread and semi-conductive charging hose

**Technical description**

**Volume**

Portanol 30	30 litre
Portanol 50	50 litre

**ANFO capacity Prilled**

Portanol 30	24 kg
Portanol 50	40 kg

**Dimension**

	Diam	Height
Portanol 30	330 mm	580 mm
Portanol 50	370 mm	680 mm

Dimensions can differ depending on selected option

**Weight**

Portanol 30	11kg
Portanol 50	13kg

Weight can differ depending on selected option

**Air consumption**

Approx. 1,5 m<sup>3</sup> / min

Depending on lenght and diam. of the charging hose

**ANFO**

	Charging density kg/dm <sup>3</sup>
Crystalline	1,1 - 1,2*
50/50 crystalline/prilled	1,1 - 1,15
Prilled	0,9 - 1,0

\* maximum value for Anfo

GRAFICO N° 19



### 6.2.3. Productividad y Costos

Productividad en frontones

Long. de perforación (m)	3.30
Eficiencia avance (%)	94.0
Nº disparos/guardia	2
Hombre Tarea/guardia	14
Tm rotas/guardia	303
Nº tal. perf/H.tarea	92
Metros perf./H-tarea	502.6
Tm rotas/tal perf.	3.29
Metro avance/guardia	6.20

## ANALISIS DE COSTO PERFORACION Y VOLADURA

TIPO DE CORTE	CORTE QUEMADO	VARIACION HOLMBERG	HOLMBERG
Sección (m <sup>2</sup> )	4.5 x 3.5	4.5 x 3.5	4.5 x 3.5
Tipo de roca	duro	duro	duro
D. Específico Tm/m <sup>3</sup>	3	3	3
Nº Taladros perforados	53	53	53
Long. de perforación (m)	3.30	3.30	3.30
Metro perforado (m)	120.80	139.75	139.75
Avance/disparad. (m)	2.87	3.10	3.15
69	87	94	95
Eficiencia (%)	5	1	1
Taladro de alivio	41	76	76
Diámetro de tal. de alivio (mm)	3.52	2.26	2.0
Factor de carga (kg/m <sup>3</sup> )	255.95	180.05	160.00
Costo de perforación (\$/m)	agua	agua	seco
Condiciones del frontón	Gelatina Esp. 75%	Gelatina Esp. 75%	ANFO
Explosivo	143.0	101.68	92.14
Costo de voladura (\$/m)			

De los cuadro mostrado podemos indicar que con el cambio de malla se mejoró en producción y a la vez se redujo los costo tanto en perforación como en voladura, pero aún más podemos ver que el uso de ANFO en condiciones secos mejora la anterior en los dos aspectos.

## 7.0. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

Con el cambio de equipo de perforación y el método de explotación la productividad en la perforación a superado los 120 m/turno alcanzando los 150 m/turno, con lo cual actualmente se tiene perforado para derribar 120,000 ton. de mineral en los tajos, demostrando que las perforaciones van con 6 meses adelantado con respecto a la producción actual.

La reducción de costo de perforación en producción de taladros largos 5.18 US\$/mt perforado a 3.25 US\$/m. perforado.

En la perforación de frontones el cambio de malla con taladros de alivio de mayor diámetro (76 mm) método HOLMBERG, ha permitido obtener una eficiencia promedio de 94% en la voladura con un incremento en 7.7% con respecto a lo logrado anteriormente.

Con la introducción del ANFO en los diferentes labores de preparación y desarrollo se bajo los costo al disminuir el consumo de gelatina 75% el cual nos permitió economizar en más del 26.6% el costo de voladura.

Una desventaja del método sub-level stoping en la voladura es la presencia de 10-15% de bancos, superiores a

18" lo que se requiere de voladura secundaria y/o el uso de equipo mecanizado para su rotura adecuada.

Las condiciones adecuadas de ventilación y seguridad con las que se tiene énfasis y se cumple de acuerdo a las normas legales vigentes en minería subterránea, permitiendo el uso de ANFO en nuestras labores sin restricción alguna, el uso de ANFO en las operaciones a permitido reducir nuestros costos de voladura, siendo uno de los rubros importantes en la estructura de costo de operación.

## **7.2. RECOMENDACIONES.**

Como consecuencia de la desventaja del Métodos sub level Stopping se tiene un serio problema en cuanto a la voladura secundaria, es recomendable la automatización de la operación del rompe bancos o martillo picadores.

Debido a la presencia de un buen porcentaje de bancos en la voladura de taladros largos con ANFO sería recomendable, realizar prueba con otro tipo de agente de voladura que podría superar esta deficiencia, en este caso una de los posibles sería el EXAMON P ó V, ya que según los fabricantes superan al ANFO en cuanto a rendimiento en voladura.

T A B L A N ° 1

CAPACIDADES CALORICAS PROMEDIO E IDEAL MOLAL CAL/MOL/°K

T°K	$\bar{C}_v$ PROMEDIO			Cv IDEAL		
	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
800				4.974	6.907	6.039
1000	5.323	9.395	6.867	5.829	11.008	7.874
1500	5.653	10.302	7.564	7.343	12.001	9.147
2000	5.900	10.884	8.168	6.615	12.515	10.021
2500	6.082	11.293	8.656	6.772	12.830	10.567
3000	6.219	11.600	9.045	6.874	13.056	10.926
3500	6.328	11.841	9.359	6.947	13.229	11.160
4000	6.415	12.039	9.614	7.002	13.368	11.321
4500	6.488	12.240	9.824	7.048	13.488	11.437
5000	6.550	12.347	10.001	7.089	13.599	11.534
5500	6.603	12.472	10.153	(7.129)	(13.681)	(11.608)
6000	6.651	12.586	10.286	(7.154)	(13.752)	(11.667)
N <sub>2</sub> = 12.5                      CaO = 15.2                      Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 28.0						

T A B L A N° 2

COVOLUMEN ESPECIFICO RELACION VOLUMEN

Densidad $\rho$	Factor de Densidad $(1/\alpha)$	Volumen Específico $(1/\rho)$	Covolumen $(\alpha)$	$V-\alpha$ $V-\alpha$	$(d\alpha/dv)S$ ( $\rho \alpha^2$ )	$\int_{V_1}^{V_2} \frac{v \cdot d\alpha}{V-\alpha}$
0.700	1.577	1.429	0.735	0.6340	0.250	0.100
0.800	2.000	1.250	0.750	0.5000	0.300	0.200
0.900	2.525	1.111	0.715	0.960	0.350	0.300
1.000	3.125	1.000	0.680	0.3200	0.390	0.400
1.100	3.645	0.9091	0.649	0.2661	0.430	0.500
1.200	4.623	0.8333	0.617	0.2163	0.470	0.600
1.300	5.530	0.7692	0.590	0.1792	0.500	0.700
1.400	6.523	0.7143	0.561	0.1533	0.530	0.900
1.500	7.710	0.6667	0.537	0.1297	0.560	1.050
1.600	9.923	0.6250	0.513	0.1120	0.590	1.250
1.700	10.50	0.5882	0.493	0.0952	0.620	1.500
1.800	11.32	0.5556	0.471	0.0846	0.650	1.750
1.900	13.40	0.5263	0.450	0.0763	0.670	1.350
2.000	14.29	0.5000	0.430	0.0700	0.700	2.150
2.100	15.52	0.4762	0.412	0.0642	0.710	2.400
2.200	17.00	0.4545	0.395	0.0535	0.740	2.700

T A B L A    Nº 3

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS

(Ref.: R-5)

Nombre y Localidad	Resistencia Compresiva (PSI)	Modulo de Ruptura (PSI)	Gravedad Especifica (SG)	Velocidad Longitudinal V <sub>1</sub> (ft/seg)
Anfibolita (India)	61,400	7,400	3,12	19,000
Basalto (New York)	46,600	8,000	2.94	18,700
Diabasa (Michigan)	44,200	5,300	2.94	16,700
Dolomita (Missouri)	8,800	1,000	2.80	-----
Gabro (New York)	40,200	5,400	2.93	17,600
Yeso (Indiana)	3,200	1,200	2.32	-----
Marmol (New York)	18,400	1,700	2.72	14,500
Curcita (Minnesota)	91,200	3,400	2.75	18,200
Arenisca (West Virginia)	19,400	3,400	2.50	12,900
Pizarra (Utah)	31,300	2,500	2.81	14,900
Sienita (New York)	34,300	2,800	2.72	14,500

## BIBLIOGRAFIA

Informe anual de reservas MINSUR S.A. 1995

XXI Convención de Ingenieros de Minas.

Julio 1993.

Manual de Dow The Hole Tunnel 60

Drillco Tools. 1995

Planeamiento anual de operaciones 1996

MINSUR S.A.

Informe Mensual de Operaciones

MINSUR S.A.

Perforación de taladros largos

Raymond M. y Fraillet

Driltach Inc. Artículo del Revista EMJ 1989

Publicación de Servios Técnicos EXSA S.A.

Boletín Técnico

Nº 11 1989



II SIMPOSIUM NACIONAL de Perforación y Voladura de Rocas  
1992.

III SIMPOSIUM NACIONAL de Perforación y Voladura de Rocas  
1995.

Manual de Perforación y Voladura de Rocas  
Instituto Geológico y Minero de España 1988

Uso de ANFO en CENTROMIN, W.F. Mc In Tyre, 1963

Manual de Operaciones SIMBA 127  
ATLAS COPCO 1984

BOLETIN " ASPECTO LEGALES DE LA VENTILACION DE MINAS"  
Ing. Luis Rodríguez C. Enero 1996

BOLETIN "VENTILACION EN MINAS SUBTERRANEAS DE CENTROMIN PERU  
S.A." Enero 1996  
Ing. Francisco Yana Jahuira.