

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA
MINERA Y METALURGICA



FORMULACION, ELABORACION Y APLICACIONES
DEL S/AN/FO EN EL PERU

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO DE MINAS
PRESENTADA POR EL BACHILLER

RODOLFO ANSELMO CASTAÑEDA VIDAL

LIMA - PERU

1998

ABSTRACTO

La presente tiene por objeto mostrar a la Minería Nacional que es factible aplicar el nuevo agente de voladura S/AN/FO, el cual permitirá bajar costos operacionales y por ende maximizar producción y productividad.

Por lo dicho anteriormente se puede inferir que para la competitividad en el mundo industrial moderno, se recomienda en forma especial que este nuevo agente constituya una nueva alternativa de gran eficiencia.

Por lo tanto, dejo a vuestra consideración este nuevo enfoque.

CURRICULUM VITAE

DATOS PERSONALES

Nombres y Apellidos : *Rodolfo Anselmo Castañeda Vidal*
Profesión : *Bachiller de Ingeniería de Minas*

ESTUDIOS REALIZADOS

Primaria : *C.E. N° 550 – Huancayo*
Secundaria : *G.U.E. Santa Isabel - Huancayo*
Superior : *Universidad Nacional de Ingeniería*

OTROS ESTUDIOS

ANALISIS FINANCIERO

Colegio de Economistas del Perú

Agosto – Noviembre 1986

EVALUACION DE PROYECTOS DE EXPLOTACION DE CARBON

UNL 1987

TOPOGRAFIA APLICADA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CARRETERAS

UNI – Civiles

Agosto – Noviembre 1994.

Diseño y Construcción de Canales de Irrigación

UNI – Civiles

Enero – Abril 1995.

EXPERIENCIA LABORAL

Compañía Minera Condestable

Explotación Subterránea y Tajo Abierto

1982.

Compañía Minera Volcán

Unidad Carahuacra. Explotación Subterránea

1985.

Compañía Minera Orcopampa

Explotación Subterránea

Estudios de Ventilación de Minas y Levantamiento de Planos Isométricos en
Veta Calera.

1986.

Explotación de Placeres Auríferos

Madre de Dios – Río Madre de Dios

1987 – 1988

Industrial Cachimayo

Jefe del Departamento de Asistencia Técnica en Perforación y Voladura de
rocas.

Estudio y Desarrollo de Inhabilitación del Poder Detonante del Nitrato de
Amonio Fertilizante.

Cuzco – 1992.

- *Promotor de Ventas de Accesorios de Voladura Mesur (Hoy Samex) y Nitrato de Amonio Grado Anfo.*

Cachimayo en diferentes compañías mineras en pequeñas, medianas y gran minería.

Diseño de Perforación de Voladura de Rocas en Minas Subterráneas y Tajos Abiertos.

Diseño de Perforación y Voladura de Rocas en Calambucos en Obras Civiles – Obras en Contrata

- **Estudio y Diseño de Anfos Preparados secos.**

AGRADECIMIENTO

A mis queridos padres Miguel y Silveria, por sus abnegados y constantes sacrificios, a mi adorada esposa Betty por su permanente y decidido apoyo, a mis preciosos hijos Pedro Miguel y Claudia Estrella.

A mis hermanos y hermanas, especialmente a mi hermano del alma Félix y a mi hermana Luisa, por su apoyo desinteresado moral y espiritualmente.

A todos mis sacrificados profesores, que cumplen una misión de apostolado en el desarrollo de nuestro país.

**FORMULACION, ELABORACION Y APLICACIONES DEL
S/AN/FO EN EL PERU**

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACTO.....

AGRADECIMIENTO.....

✕ VITAE

CAPITULO 1

1.0 INTRODUCCION

1.2 ANTECEDENTES

1.3 OBJETIVOS

1.4 ALCANCES

1.5 LIMITACIONES.....

CAPITULO 2

2.0	LOS AGENTES DE VOLADURA SECOS.....
2.1	DEFINICION.....
2.2	DESCUBRIMIENTO - DESARROLLO HISTORICO.....
2.3	ECUACIONES ESTEQUIOMETRICAS.....
2.4	BALANCE DE OXIGENO (OB).....
2.5	CALOR DE EXPLOSION (Q3).....
2.6	LIMITACIONES.....
2.6.1	FALTA DE RESISTENCIA AL AGUA.....
2.6.2	BAJA DENSIDAD A GRANEL.....

CAPITULO 3

3.0	ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS INGREDIENTES A SER USADOS EN LA FORMULACION Y ELABORACION DEL S/AN/FO.....
3.1	INTRODUCCION.....
3.2	NITRATO DE AMONIO: NO_3NH_4
3.3	NITRATO DE SODIO : NO_3NH_4
3.4	ALUMINO: Al.....
3.5	CARBON: C.....
3.6	AZUFRE: S.....
3.7	PETROLEO DIESEL Nº 2: CH_2

CAPITULO 4

4.0	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....
4.1	INTRODUCCION.....
4.2	DIVERSAS FORMULACIONES Y REACCIONES FISICO – QUIMICAS DEL AGENTE DE VOLADURA SECO: S/AN/FO.....
4.3	FORMULACION OPTIMA DEL S/AN/FO.....

CAPITULO 5

5.0	CALCULO DE LOS PARAMETROS DE DETONACION Y EXPLOSION DEL AGENTE DE VOLADURA SECO: S/AN/FO.....
5.1	INTRODUCCION.....
5.2	CALCULO DE LOS PARAMETROS DE DETONACION Y EXPLOSION DEL S/AN/FO OPTIMO.....
5.3	CONDICIONES DE OPTIMALIDAD:
5.3.1	BALANCE DE OXIGENO ($OB \approx 0$).....
5.3.2	CALOR DE EXPLOSION MAXIMO: $Q_3 = \text{MAX}$
5.3.3	CANTIDAD Y CALIDAD DE GASES VENENOSOS: $QQP_g = \text{MINIMA}$
5.3.4	COSTO = MINIMO.....

CAPITULO 6

6.0	DISCUSION E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....
6.1	INTRODUCCION.....
6.2	CURVAS COMPARATIVAS.....

CAPITULO 7

- 7.0 APLICACIONES DEL S/AN/FO EN EL PERU.....
- 7.1 INTRODUCCION.....
- 7.2 USOS DEL S/AN/FO EN MINERIA SUBTERRANEA.....
- 7.3 USOS DEL S/AN/FO EN MINERIA A TAJO ABIERTO.....

CAPITULO 8

- 8.0 CONCLUSIONES.....

CAPITULO 9

- 9.0 RECOMENDACIONES.....

CAPITULO 10

- 10.0 BIBLIOGRAFIA.....

CAPITULO 1

INTRODUCCION

CAPITULO 1

1.0 INTRODUCCION

Es bien conocido que para llevar a cabo cualquier actividad relacionada con el movimiento de material rocoso (minería, carreteras, ferrocarriles, canteras, etc); se requiere de las operaciones unitarias de perforación y voladura para efectuar la fragmentación de la roca. En otras palabras, es necesario reducir el tamaño al macizo rocoso, para que sea fácilmente manipulado por el equipo de carguío, acarreo, primario, etc, etc.

Hablando específicamente de minería se puede decir que ésta consta de dos procesos principales que son los siguientes:

- i). El arranque o fragmentación del material rocoso el cual es llevado a cabo por las operaciones mineras unitarias de perforación y voladura; y ,

- ii). La extracción del material fragmentado el cual es realizado mediante el equipo minero y las operaciones mineras unitarias de carguío, acarreo primario, etc.

Por otro lado, muchos investigadores están de acuerdo en que las operaciones mineras unitarias de perforación y voladura tienen una influencia predominante en el ciclo total de minado; porque de los resultados de estas dependerá la producción y la productividad y por ende los costos en US\$/TM de las subsiguientes operaciones mineras unitarias que son: carguío, acarreo, chancado primario, chancado secundario, etc.

Por otro lado, se debe mencionar que durante las tres últimas décadas mucho se ha investigado y aprendido del mecanismo básico del proceso del fracturamiento de rocas, los parámetros de detonación y explosión de las mezclas explosivas comerciales, de las técnicas de optimización, mecánicas de rocas, geotecnia, ingeniería ambiental aplicada a la minería, etc., etc.

También cabe destacar que la industria minera constituye uno de los pilares de la economía en el país, ya que ésta contribuye con un gran porcentaje de divisas para el Perú y también significa un polo de desarrollo con efectos multiplicadores, con las consiguientes ventajas que esto significa.

1.1 ANTECEDENTES

El descubrimiento del AN/FO en los llamados desastres de TEXAS CITY AND HAMBURG en 1940, marcó un hito trascendental en la

historia del desarrollo de la ciencia de las mezclas explosivas Comerciales.

Robert W. Akre fue uno de los muchos que investigaron los desastres mencionados anteriormente y este sacó como conclusión principal que los barcos habían sido cargados con Nitrato de Amonio (NO_3NH_4) en forma de prills y estos prills habían sido recubiertos con parafina para evitar su aglutinamiento.

AKRE también concluyó que probablemente las impurezas que se encontraban en los prills de Nitrato de Amonio; y las altas temperaturas de los depósitos que lo contenían fue lo que causó una combustión espontánea; y la combustión de las bolsas de papel que contenían al Nitrato de Amonio contribuyó aún más con carbón para que la reacción química sea aún más completa.

AKRE no se equivocó cuando inmediatamente pensó que el NO_3NH_4 , podría potencialmente ser un ingrediente de las nuevas mezclas explosivas comerciales, ya que en la actualidad es el principal ingrediente de éstas. Se sabe que el primer AN/FO comercial que se fabricó a comienzos de los años 50, fue llamado AKREMITE; y es justamente en ese entonces que este agente de voladura seco es introducido en las operaciones mineras tanto subterráneas como superficiales, como una mezcla explosiva comercial para ser cargada a granel.

Al principio se creía que se había descubierto el agente de voladura ideal y esto era porque el AN/FO era fácil de prepararse, era muy seguro en su formulación, manipuleo, transporte, almacenaje, carguo dentro de los taladros y sobre todo de bajo costo, etc, etc.

Pero luego los investigadores de esa época, descubrieron que el AN/FO tenía dos grandes restricciones que eran las siguientes:

- Falta de resistencia, al agua, y
- Baja densidad a granel; lo que a su vez se traduce en una baja potencia a granel.

En la minería peruana se cree que el AN/FO se comienza a usar al finalizar la década de los años 50. Por otro lado, se debe expresar que el agente de voladura AN/FO cuando es adecuadamente formulado, preparado y cargado dentro de los taladros donde el tipo de roca ha sido previamente muestreado y determinados los valores físico – mecánicos de esta; para conocer anticipadamente la energía requerida en el momento de la detonación; entonces se puede esperar buenos resultados de los disparos y por ende bajos costos de producción en US\$/TM.

Finalmente, se debe mencionar que el uso del agente de voladura AN/FO, se esparció rápidamente a nivel mundial a partir de la década de los años 50 por su fácil fabricación y bajo costo; ya que el que quería usar AN/FO sólo tenía que comprar Nitrato de Amonio y Petróleo Diesel Nº 2 y mezclarlos y cargar el producto dentro de los taladros. Lógicamente que

mucha gente se llevaba algunas sorpresas al evaluar los resultados de la voladura de rocas que pretendían realizar, ya que ésta se llevaba a cabo sin recalcar los principales parámetros de detonación y explosión del AN/FO preparado en forma casi artesanal y sobre todo no se tenían en cuenta los valores físico – mecánicos de las rocas para de esta manera conocer la energía requerida en el momento de la detonación para fracturar adecuadamente a cada tipo de roca en las diferentes operaciones mineras tanto subterráneas como superficiales.

Luego al finalizar la década de los 60, se inventa los agentes de voladura secos llamados A1/AN/FO y S/AN/FO.

1.2 OBJETIVOS

Los principales objetivos del presente estudio son los siguientes:

1.2.1 Demostrar que es factible y posible que en el Perú se puede comenzar a formular, elaborar y aplicar el agente de voladura seco llamado S/AN/FO.

1.2.2 La demostración que se menciona en el acápite anterior, se hará desde un punto de vista técnico – económico – productivo, etc.

1.2.3 **Mostrar la metodología y las etapas de producción principales y necesarias que debe seguirse para que en una forma simple y práctica se pueda comenzar a formular, elaborar y aplicar el agente de voladura seco llamado S/AN/FO.**

1.3 ALCANCES

Los alcances del presente estudio de investigación, son mostrar la tecnología más moderna para la formulación, fabricación, controles de calidad, manipuleo, almacenaje, carguío dentro de los taladros, efectos nocivos de los gases, producto de la detonación del agente de voladura seco no adecuadamente formulado y fabricado y las medidas correctivas que se deben tomar en este último caso.

1.4 LIMITACIONES

Las limitaciones del presente estudio de investigación estarán en información directa a las limitaciones con que se cuenta para conseguir la información técnica más actualizada referente al S/AN/FO.

CAPITULO 2

- **LOS AGENTES DE**
- **VOLADURA SECOS**

CAPITULO 2

2.0 LOS AGENTES DE VOLADURA SECOS

2.1 DEFINICION

En forma genérica la definición de un agente de voladura es la siguiente:

Es una mezcla compuesta de oxidantes y combustibles; que después que estos son mezclados en las proporciones adecuadas, dicha mezcla se convertirá en un agente de voladura; en el cual ninguno de los ingredientes es clasificado como un explosivo propiamente dicho; y dicha mezcla explosiva no es sensible a un fulminante común N° 8, y que para su iniciación es necesario un booster que produzca una alta presión de detonación (P2).

En otras palabras, los agentes de voladura son mezclas explosivas que contienen nitratos inorgánicos y algunos combustibles carbonáceos, los cuales pueden contener sustancias adicionales no explosivas tales como: aluminio, ferrosilicón, etc , etc.

Los nitratos inorgánicos más comúnmente usados son: el Nitrato de Amonio, el Nitrato de Sodio y los combustibles carbonáceos más comunes son: el petróleo Diesel N° 2 y ciertos tipos de material carbonáceo.

Se debe notar que los agentes de voladura pueden ser secos y acuosos; pero como se ha mencionado anteriormente la presente investigación está referida al agente de voladura seco llamado: S/AN/FO.

2.2 DESCUBRIMIENTO - DESARROLLO HISTORICO

En realidad la fecha exacta y el inventor del agente de voladura seco llamado S/AN/FO son desconocidos. Pero si se conoce que en ciertos países del mundo tales como Chile, se viene formulando, fabricando y usando este agente de voladura desde hace 20 años atrás, y cada vez se ha ido mejorando su formulación de acuerdo a los requerimientos en aplicación para diferentes tipos de roca.

Se debe mencionar que en el Perú; el S/AN/FO nunca ha sido formulado, fabricado, ni usado, las razones para esto son múltiples y de diversos tipos.

2.3 COMPOSICION DEL S/AN/FO

Los ingredientes y/o componentes del agente de voladura S/AN/FO son los siguientes:

Nitrato de Amonio (NO_3NH_4), Nitrato de Sodio (NO_3Na), Carbón C , Aluminio (Al), Petróleo Diesel N° 2 (FO), etc, etc. En diferentes proporciones de acuerdo a las aplicaciones de campo que les vaya a dar.

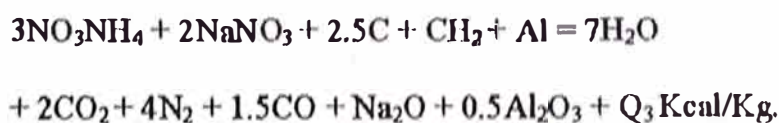
Se debe mencionar que de acuerdo a lo especificado anteriormente se tendrá: S/AN/FO aluminizados y S/AN/FOs no aluminizados.

Por otro lado, se debe mencionar que como el S/AN/FO está clasificado como agente de voladura seco; igual que el AN/FO y el Al/AN/FO; este tendrá las mismas ventajas y desventajas de estos.

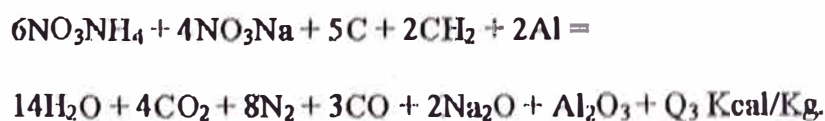
También se debe enfatizar que para iniciar al S/AN/FO se requiere de un booster que produzca un alta presión de detonación (P2).

2.4 ECUACIONES ESTEQUIOMETRICAS

Existen varias ecuaciones estequiométricas del S/AN/FO una de las cuales es la siguiente:



La reacción química balanceada del S/AN/FO será la siguiente:



2.5 CALCULO DE LA COMPOSICION PORCENTUAL DEL

S/AN/FO

Ingredientes	(% W)
NO_3NH_4	5.13
NO_3Na	36.4
C	6.4
CH_2	3.0
Al	2.9
Total	100.0

2.6 CALCULO DEL BALANCE DE OXIGENO (OB)

El balance de oxígeno (OB) de una mezcla explosiva comercial, es una condición teórica y esta se da cuando la cantidad de oxígeno presente en dicha mezcla explosiva comercial es lo suficiente como para oxidar completamente los ingredientes combustibles a su más alto estado de oxidación.

La información para llevar a cabo el cálculo del balance de oxígeno (OB) está contenida en la Tabla I, como se sabe para llevar a cabo estos cálculos se toma como base 100 gr. De mezcla explosiva.

Tabla I

Ingredientes	%W	Ho	No	Oo	Co	Nao	Alo
NO3NH4	51.3	0.0256	0.0128	0.0192			
NO3Na	36.4		0.0043	0.0128		0.0043	
C	6.4				0.0053		
CH2	3	0.0043			0.0021		
Al	2.9						0.0011
TOTAL							
Atm-gr/100gr		0.0299	0.0171	0.032	0.0074	0.0043	0.0011
TOTAL							
Atm-gr/Kg		0.299	0.171	0.32	0.074	0.043	0.0011

La relación matemática para calcular el balance de oxígeno (OB) será la siguiente:

$$OB = O_o - 2C_o - \frac{1}{2} H_o - \frac{1}{2} N_aO - \frac{3}{2} A_lO$$

Reemplazando valores en la ecuación anterior se tendrá que el balance de oxígeno será:

$$OB = -0.0075 \text{ Atm-grs/Kg. De S/AN}$$

2.7 CALCULO DEL CALOR DE EXPLOSION

(Q3)

Para calcular el calor de explosión (Q3) se usa la siguiente expresión matemática:

$$Q3 = HP - Hr$$

Donde:

$Q_3 =$ Calor de explosión en Kcal/Kg

$H_p =$ Calor de formación de los productos.

$H_r =$ Calor de formación de los reactantes.

Reemplazando valores en la ecuación anterior, se tiene:

$$\Sigma H_p = 1955.46 \text{ Kcal/Mol.}$$

$$\Sigma H_r = 999.32 \text{ Kcal/Mol.}$$

$$\therefore Q_3 = 956.14 \text{ Kcal/Mol.}$$

2.8 LIMITACIONES

Como ya se ha mencionado anteriormente, las limitaciones del S/AN/FO son las mismas que de los otros agentes de voladura secos tales como el AN/FO y el A1/AN/FO.

2.8.1 FALTA DE RESISTENCIA AL AGUA

Teniendo en cuenta que el S/AN/FO está constituido en un alto porcentaje por el Nitrato de Amonio, y como se sabe este tiene una alta higroscopicidad; esta es una de las razones entonces por

lo cual dicho agente de voladura seco no tiene buena resistencia al agua.

2.8.2 BAJA DENSIDAD A GRANEL

En general la densidad de los agentes de voladura secos debe estar en el rango siguiente: 0.85 – 1.20 gr/cc; porque como se sabe si se incrementa esta densidad, se podría llegar a la famosa situación del paquete muerto (dead package).

Por otro lado, también se ha investigado que esta baja densidad a granel se traduce en una baja potencia por volumen.

CAPITULO 3

**ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS INGREDIENTES
A SER USADOS EN LA FORMULACION
Y ELABORACION DEL S/AN/FO**

CAPITULO 3

3.0 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS INGREDIENTES A SER USADOS EN LA FORMULACION Y ELABORACION DEL S/AN/FO

3.1 INTRODUCCION

Las especificaciones técnicas de la referencia han sido establecidas a nivel internacional por organismos e instituciones especializadas.

Por otro lado, los principales ingredientes para formular y elaborar el S/AN/FO en el Perú, son los siguientes:

Nitrato de Amonio (AN)

Nitrato de Sodio (SN)

Carbón (C)

Aluminio (Al)

Petróleo Diesel Nº 2 (FO)

Se debe reiterar que la única manera de obtener un agente de voladura seco adecuadamente formulado y elaborado es empleando ingredientes que cumplan estrictamente con las especificaciones técnicas establecidas

a nivel mundial; para lo cual se tendrá que establecer los controles de calidad respectivos.

Las especificaciones técnicas de los ingredientes de la referencia se detallan a continuación:

NITRATO DE AMONIO - PRILLS

<u>ESPECIFICACIONES</u>	<u>VALOR</u>
<u>Apariencia</u>	Sólido blanco granulado. Color uniforme sin materiales extraños.
<u>Contenido de Nitrógeno total:</u>	34.5% min
<u>Humedad</u>	0.3% max.
<u>Densidad de caída libre</u>	0.80 gr/cc max.

Tamaño de partículas

<u>Malla</u>	<u>% Retenido</u>
Malla 6	0
Malla 10	6 máx.
Malla 14	65 mín
Malla 18	25 máx.
Malla 35	10 máx.

Debe tener una capacidad de absorción suficiente como para retener mínimo 6% de Petróleo Diesel Nº 2.

SODIO
NITRATO DE SODIO

ESPECIFICACIONES	VALOR
<i><u>Apariencia</u></i>	: Sólido blanco granulado
<i>Pureza</i>	: 96% min.
<i>Insolubles</i>	: 0.3% máx.
<i>Humedad</i>	: 0.3% máx.
<i>Densidad <u>aparente</u></i>	: 1.25 gr/cc. Máx.

Tamaño partículas

<i><u>Malla</u></i>	<i><u>% retenido</u></i>
Nº 10	: 15 máx
Nº 16	: 96 mín (acum).
(pasa) Nº 30	: 0.5 máx.

ALUMINIO GRANULADO

<u>ESPECIFICACIONES</u>		<u>VALOR</u>
<u>Apariencia</u>	:	Sólido de libre fluidez
<u>Pureza</u>	:	90% mín.
<u>Otros</u>	:	10% máx.
<u>Densidad aparente</u>	:	0.65 – 0.85 gr/cc

Tamaño de Partículas

<u>Malla</u>	<u>% retenido</u>
Nº 18	0
Nº 100	95 mín
(pasa) Nº 150	5 máx.

CARBON VEGETAL

<u>ESPECIFICACIONES</u>		<u>VALOR</u>
<u>Apariencia</u>	:	Sólido de libre fluidez Negro
<u>Humedad</u>	:	5% máx.
<u>Cenizas</u>	:	3% máx.
<u>Densidad aparente</u>	:	0.4 – 0.6

Tamaño de partículas

	<u>Malla</u>	<u>% retenido</u>
	18	0
	100	90
(pasa)	150	10

AZUFRE

<u>ESPECIFICACIONES</u>		<u>VALOR</u>
<u>Apariencia</u>	:	Polvo amarillo de libre
		Fluidez
<u>Pureza</u>	:	98%
<u>Humedad</u>	:	0.3% min.
<u>Densidad aparente</u>	:	0.6 gr/cc

Tamaño de partículas

	<u>Nº de Tamiz</u>	<u>% pasa</u>
	18	0
	150	95 min
(pasa)	150	5 máx.

FUEL OIL N° 2

<u>ESPECIFICACIONES</u>		VALOR
<i><u>Apariencia</u></i>	:	Líquido fluido
<i><u>Peso específico</u></i>	:	0.83 gr/cc min.
<i><u>Punto de inflamación</u></i>	:	88-93°C

CAPITULO 4

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CAPITULO 4

4.0 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4.1 INTRODUCCION

Como se sabe en la actualidad los ejecutivos de las empresa mientras están mucho más interesados en conocer con mayor detalle y exactitud “La Energía que producen las mezclas explosivas comerciales que ellos están comprando y como el fracturamiento primario de las rocas afectará los costos del ciclo total del minado”

Algún investigador ha dicho la siguiente:

“Una buena voladura de rocas en la mina es la clave para obtener una operación minera eficiente y con bajos costos operacionales”.

Como se sabe la evaluación del costo de la voladura de rocas y la incidencia de éste en los costos de perforación, carguío, acarreo, chancado primario, etc, etc, es probablemente el problema más crucial con que los gerentes de las empresas mineras modernas tienen que enfrentarse.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente se debe enfatizar que para obtener buenos resultados en la operación minera de voladura de rocas, uno de los factores fundamentales es usar mezclas explosivas comerciales óptimas.

Entonces tomando en consideración lo mencionado antes es que el presente trabajo de investigación se plantea formular, elaborar y usar el nuevo agente de voladura seco llamados S/AN/FO, en las operaciones mineras tanto subterráneas como superficiales de la minería nacional.

4.2 DIVERSAS FORMULACIONES Y REACCIONES FISICO – QUIMICAS DEL AGENTE DE VOLADURA SECO: S/AN/FO

Varias formulaciones y sus respectivas reacciones físico – químicas se pueden desarrollar para el S/AN/FO. Como es conocido de explosión Q3 en (kcal/mol).

Variará de acuerdo a la variación de los porcentajes de los ingredientes en la mezcla explosiva comercial y esto influirá en la velocidad de detonación (P2), teniendo en cuenta esta última aseveración; uno de los principales objetivos del presente trabajo de investigación ha sido el de tratar de determinar la formulación óptima del S/AN/FO, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

4.3 FORMULACION OPTIMA DEL S/AN/FO

Para obtener la formulación óptima del S/AN/FO, se ha tenido que formular y balancear una serie de reacciones químicas de éste.

Lógicamente que llevar éstos cálculos manualmente es muy tedioso y generalmente éstos cálculos no tienen mucha precisión y se consume mucho tiempo por lo que para subsanar este obstáculo; y tomando como base los algoritmos desarrollados en el curso MI-145 R “Teoría de voladura de rocas”, se ha desarrollado un modelo matemático y su Software respectivo para calcular los parámetros de detonación y explosión de cualquier agente de voladura seca, y cuyo diagrama de flujo se muestra en el APENDICE I. Por lo tanto, la formulación óptima del S/AN/FO fue posible obtenerla usando el SOFTWARE mencionado anteriormente; mediante el cual los resultados son obtenidos con mucha rapidez y precisión. Dicha formulación será discutida con mayor profundidad en el siguiente capítulo.

CAPITULO 5

CALCULO DE LOS PARAMETROS DE DETONACION Y
EXPLOSION DEL AGENTE DE VOLADURA SECO:
S/AN/FO

CAPITULO 5

5.0 CALCULO DE LOS PARAMETROS DE DETONACION Y EXPLOSION DEL AGENTE DE VOLADURA SECO: S/AN/FO

5.1 INTRODUCCION

Teniendo en cuenta que en la formulación y elaboración del S/AN/FO intervienen varios ingredientes; por lo tanto al variar los porcentajes éstos, cambiarán todos las características y parámetros de detonación y explosión de las mezclas explosivas respectivas. En otras palabras se podrán formular y elaborar una serie de S/AN/FO's, de acuerdo al tipo de roca donde vayan a trabajar, labor minera, etc.

5.2 CALCULO DE LOS PARAMETROS DE DETONACION Y EXPLOSION DEL S/AN/FO OPTIMO

Por todo lo mencionado anteriormente, para determinar los parámetros de detonación y explosión del S/AN/FO óptimo se tendrá que llevar a cabo una serie de cálculos iterativos los cuales si se hacen manualmente tomaría demasiado tiempo por lo tanto para efectuar estos cálculos rápidamente y con la precisión requerida se ha desarrollado un modelo matemático (ALGORITMOS) y su Software respectivo cuyo diagrama de flujo de muestra en el Apéndice I.

Los resultados obtenidos usando el Software mencionado anteriormente se muestran a continuación.

Para obtener la formulación óptima del S/AN/FO se han tenido que formular trece (13) tipos de S/AN/FO'S.

Observando los resultados mencionados anteriormente se puede determinar el S/AN/FO óptimo.

5.3 CONDICIONES DE OPTIMALIDAD

Las condiciones de optimalidad, para el agente de voladura seco llamado S/AN/FO son los siguientes:

5.3.1 Balance de Oxígeno ($O_B \approx 0$)

Una de las condiciones fundamentales de optimalidad del S/AN/FO es que cuando se haya balanceado la reacción Físico – Químico de la formación de dicho agente de voladura seco, y luego al calcularse el balance del oxígeno (O_B) éste debe tender a cero.

5.3.2 Calor de Explosión Máximo ($Q_3 \approx \text{MAX}$)

En el momento de la detonación del S/AN/FO óptimo, el calor explosión (Q_3) generado por dicha detonación debe ser máximo.

5.3.3 La Cantidad y Calidad de gases venenosos debe tender a un mínimo ($QQPG = \text{Mínimo}$)

En el momento de detonación del S/AN/FO óptimo, la cantidad y la calidad de los gases producidos por dicha detonación deben tender a un mínimo.

5.3.4 Costo Mínimo ($C \approx \text{Mínimo}$)

Lógicamente que los ingredientes usados en la formulación del S/AN/FO óptimo están proporcionados en la forma más adecuada posible y por lo tanto el costo de fabricación por kg. Tenderá a ser mínimo.

SANFO : MEZCLA N° 1

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : 7.0043232 at-gr/kg

PORCENTAJES				
50	35	4	8	3

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono = 9.512149
Hidrógeno = 30.68645
Oxígeno = 31.08978
Nitrógeno = 16.60935
Sodio = 4.117163
Calcio = 0
Aluminio = .1.111935

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos = 2277.9
Calor de Reactantes = 1032.354
Calor de Explosión = 1245.546

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida = 3985 °K
 ΣC_v promedio gases = .3588809
 ΣC_v sólidos – gases = .4019491
Nº de Moles = 36.88654
Beta = .6157687
Volum. Espec. Ajustado = .683258
Temperatura Ajustada = 3984.671°K
Presión de Detonación = 86744.06 atm
Velocidad Detonación = 5671.162 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum. = 3003 °K
 ΣC_v Promedio = 0460371
Temperat. Calc. T3 = 3003.528°K
Presión Explosión = 34958.47 atm

SANFO : MEZCLA N° 2

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : -5.158419 at-gr/kg

PORCENTAJES				
55	30	3	7	5

Átomos Gramo por Kilogramo

Carbono	=	7.966751
Hidrógeno	=	31.75937
Oxígeno	=	31.19911
Nitrógeno	=	17.27041
Sodio	=	.3.528997
Calcio	=	0
Aluminio	=	1.853225

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor Productos	=	2327.878
Calor Reactantes	=	1016.028
Calor Explosión	=	1311.85

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida	=	4003 °K
Σ Cv promedio gases	=	.3467564
Σ Cv Sólidos – gases	=	.4162487
Nº de Moles	=	37.02598
Beta	=	.6370086
Volum. Espec. Ajustado	=	.6883905
Temperatura Ajustada	=	4002.988 °K
Presión de Detonación	=	86522.14 atm
Velocidad Detonación	=	5729.39 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum.	=	3154 °K
Σ Cv Promedio	=	.4593427
Temperat. Calc. T3	=	3153.93 °K
Presión Explosión	=	36847.79 atm

SANFO : MEZCLA N° 3

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : -4.685424 at-gr/kg

PORCENTAJES				
55	30	2	8	5

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono = 8.086633
Hidrógeno = 30.33386
Oxígeno = 31.19911
Nitrógeno = 17.27041
Sodio = 3.528997
Calcio = 0
Aluminio = 1.853225

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos = 2297.56
Calor de Reactantes = 1010.952
Calor de Explosión = 1287.004

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida = 4000 °K
 ΣCv promedio gases = .3402706
 ΣCv Sólidos – gases = .4108078
N° de Moles = 36.4331
Beta = .6179475
Volum. Espec. Ajustado = .6836622
Temperatura Ajustada = 3999.058 °K
Presión de Detonación = 85837.63 atm
Velocidad Detonación = 5646.513 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum. = 3139 °K
 ΣCv Promedio = .4529078
Temperat.Calc. T3 = 3139.646 °K
Presión Explosión = 36093.56 atm

SANFO: MEZCLA N° 4

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : -4.312613 at-gr/kg

PORCENTAJES				
55	35	3	7	5

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono	=	7.966751
Hidrógeno	=	29.26093
Oxígeno	=	31.08978
Nitrógeno	=	16.60935
Sodio	=	4.117163
Calcio	=	0
Aluminio	=	1.853225

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos	=	2285.081
Calor de Reactantes	=	1027.278
Calor de Explosión	=	1257.804

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida	=	3926 °K
ΣC_v promedio gases	=	.3297003
ΣC_v Sólidos - gases	=	.4069288
N° de Moles	=	35.74032
Beta	=	.6360239
Volum. Espec. Ajustado	=	.6881461
Temperatura Ajustada	=	3925.644 °K
Presión de Detonación	=	81940.16 atm
Velocidad Detonación	=	5572.532 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum.	=	3069 °K
ΣC_v Promedio	=	.453874
Temperat. Calc. T3	=	3069.262°K
Presión Explosión	=	34613.47atm

SANFO: MEZCLA N° 5

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : - 1.538023 at-gr/kg

PORCENTAJES				
55	35	4	5	6

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono = 6.301473
Hidrógeno = 29.26093
Oxígeno = 31.08978
Nitrógeno = 16.60935
Sodio = 4.117163
Calcio = 0
Aluminio = 2.22387

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos = 2225.324
Calor de Reactantes = 1027.278
Calor de Explosión = 1198.046

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida = 3795 °K
 ΣC_v promedio gases = .3065068
 ΣC_v Sólidos - gases = .4010027
Nº de Moles = 34.631
Beta = .637952
Volum. Espec. Ajustado = .688437
Temperatura Ajustada = 3794.107 °K
Presión de Detonación = 76605.4 atm
Velocidad Detonación = 5391.629 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum. = 3010 °K
 ΣC_v Promedio = .4418663
Temperat. Calc. T3 = 3009.332°K
Presión Explosión = 32884.25 atm

SANFO: MEZCLA N° 6

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : - 9846782 at-gr/kg

PORCENTAJES				
55	35	3	4	8

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono = 5.468833
Hidrógeno = 29.26093
Oxígeno = 31.08978
Nitrógeno = 16.60935
Sodio = 4.117163
Calcio = 0
Aluminio = 2.96516

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos = 2340.738
Calor de Reactantes = 1027.278
Calor de Explosión = 1313.46

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida = 3898 °K
 ΣCv promedio gases = .2961595
 ΣCv Sólidos - gases = .4233208
Nº de Moles = 34.9103
Beta = .6407335
Volum. Espec. Ajustado = .6890529
Temperatura Ajustada = 3897.36 °K
Presión de Detonación = 79201.56 atm
Velocidad Detonación = 5489.899 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum. = 3194 °K
 ΣCv Promedio = .4535797
Temperat.Calc. T3 = 3193.765 K°
Presión Explosión = 53181.09 atm

SANFO: MEZCLA N° 7

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : - 4.98034 E-02at-gr/kg

PORCENTAJES				
35	49.55	4.09	3.53	7.86

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono = 5.854399
Hidrógeno = 23.31943
Oxígeno = 30.60298
Nitrógeno = 14.57326
Sodio = 5.328726
Calcio = 0
Aluminio = 2.913269

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos = 2277.308
Calor de Reactantes = 1060.607
Calor de Explosión = 1216.702

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida = 3753 °K
 ΣC_v promedio gases = .2597549
 ΣC_v Sólidos - gases = .4061542
Nº de Moles = 32.08502
Beta = .6397931
Volum. Espec. Ajustado = .688872
Temperatura Ajustada = 3752.344 °K
Presión de Detonación = 70128.57 atm
Velocidad Detonación = 5263.76 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum. = 3007 °K
 ΣC_v Promedio = .4492089
Temperat.Calc. T3 = 3006.543 °K
Presión Explosión = 30438.45 atm

SANFO: MEZCLA N° 8

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : - 3.372193 E-02 at-gr/kg

PORCENTAJES				
49	34.68	2.86	2.45	11.01

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono — 4.078456
Hidrógeno = 28.56167
Oxígeno = 30.60208
Nitrógeno = 16.32187
Sodio = 4.07952
Calcio = 0
Aluminio = 4.080801

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos = 24479.436
Calor de Reactantes = 1011.354
Calor de Explosión = 1468.083

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida = 4038 °K
 ΣCv promedio gases = .2735286
 ΣCv Sólidos - gases = .4502422
Nº de Moles = 34.68119
Beta = .6430163
Volum. Espec. Ajustado = .6894908
Temperatura Ajustada = 437.469 °K
Presión de Detonación = 81832.96 atm
Velocidad Detonación = 5570.533 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum. = 3465 °K
 ΣCv Promedio = .4635101
Temperat. Calc. T3 = 3465.316 °K
Presión Explosión = 37921.86 atm

SANFO: MEZCLA N° 9

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : - 212183 at-gr/kg

PORCENTAJES				
58	30	3	4	5

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono = 5.468833
Hidrógeno = 33.25844
Oxígeno = 32.3234
Nitrógeno = 18.01994
Sodio = 3.528997
Calcio = 0
Aluminio = 1.853225

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos = 2136.272
Calor de Reactantes = 1048.968
Calor de Explosión = 1087.304

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida = 3584 °K
 ΣCv promedio gases = .3211823
 ΣCv Sólidos - gases = .3906736
Nº de Moles = 35.65236
Beta = .6439446
Volum. Espec. Ajustado = .6897236
Temperatura Ajustada = 3583.99 °K
Presión de Detonación = 74236.78 atm
Velocidad Detonación = 5323.163 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum. = 2811 °K
 ΣCv Promedio = .432661
Temperat. Calc. T3 = 2811.063 °K
Presión Explosión = 31623.62 atm

SANFO: MEZCLA N° 10

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : 1.158176 at-gr/kg

PORCENTAJES				
58	30	1	6	5

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono	=	5.708596
Hidrógeno	=	30.4074
Oxígeno	=	32.3234
Nitrógeno	=	18.01994
Sodio	=	3.528997
Calcio	=	0
Aluminio	=	1.853225

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos	=	2076.427
Calor de Reactantes	=	1038.816
Calor de Explosión	=	1037.611

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida	=	3526 °K
ΣCv promedio gases	=	.3079789
ΣCv Sólidos - gases	=	.3794463
Nº de Moles	=	34.4666
Beta	=	.6433952
Volum. Espec. Ajustado	=	.6895606
Temperatura Ajustada	=	3525.254 °K
Presión de Detonación	=	70599.38 atm
Velocidad Detonación	=	5189.186 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum.	=	2770 °K
ΣCv Promedio	=	.4197604
Temperat. Calc. T3	=	2769.912 °K
Presión Explosión	=	30124.32 atm

SANFO: MEZCLA N° 11

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : 1.706941 at-gr/kg

PORCENTAJES				
50	35	2	3	10

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono = 3.923435
Hidrógeno = 27.83542
Oxígeno = 31.008978
Nitrógeno = 16.60935
Sodio = 4.117163
Calcio = 0
Aluminio = 3.706449

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos = 2347.92
Calor de Reactantes = 1022.202
Calor de Explosión = 1325.718

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida = 3859 °K
 ΣC_v promedio gases = .2672458
 ΣC_v Sólidos - gases = .4287032
N° de Moles = 33.76408
Beta = .643142
Volum. Espec. Ajustado = .6894288
Temperatura Ajustada = 3858.13 °K
Presión de Detonación = 75675.3 atm
Velocidad Detonación = 5370.884 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum. = 3625 °K
 ΣC_v Promedio = .4469484
Temperat. Calc. T3 = 3264.82 °K
Presión Explosión = 34782.99 atm

SANFO: MEZCLA N° 12

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : 2.683273 at-gr/kg

PORCENTAJES				
60	30	3	3	4

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono = 4.636194
Hidrógeno = 34.25781
Oxígeno = 33.07293
Nitrógeno = 18.51963
Sodio = 3.528997
Calcio = 0
Aluminio = 1.48258

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos = 1989.982
Calor de Reactantes = 1070.928
Calor de Explosión = 919.0544

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida = 3279 °K
 ΣCv promedio gases = .3143938
 ΣCv Sólidos - gases = .36716115
Nº de Moles = 35.01328
Beta = .6479085
Volum. Espec. Ajustado = .6904776
Temperatura Ajustada = 3278.913 °K
Presión de Detonación = 66520.73 atm
Velocidad Detonación = 5047.619 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum. = 3518 °K
 ΣCv Promedio = .4138118
Temperat. Calc. T3 = 2518.948°K
Presión Explosión = 27829.47 atm

SANFO: MEZCLA N° 13

Densidad del explosivo usado : 1.1 gr/cc
Balance de oxígeno : 7.758108 at-gr/kg

PORCENTAJES				
30	60	3	3	4

Atomos Gramo por Kilogramo

Carbono = 4.636194
Hidrógeno = 19.26718
Oxígeno = 32.41695
Nitrógeno = 14.55331
Sodio = 7.57993
Calcio = 0
Aluminio = 1.48258

Calor de Explosión Kcal/Kg

Calor de Productos = 1733.203
Calor de Reactantes = 1138.428
Calor de Explosión = 594.775

Parámetros de Detonación

Temperatura Asumida = 2546 °K
 ΣC_v promedio gases = .2110409
 ΣC_v Sólidos - gases = .3116527
Nº de Moles = 27.29931
Beta = .6518747
Volum. Espec. Ajustado = .6910636
Temperatura Ajustada = 2545.02 °K
Presión de Detonación = 40119.21 atm
Velocidad Detonación = 3925.247 m/s

Parámetros de Explosión

Temperat. Asum. = 1869 °K
 ΣC_v Promedio = .3784894
Temperat. Calc. T3 = 1869.444°K
Presión Explosión = 1603.38 atm

CAPITULO 6

INTERPRETACION Y DISCUSION DE **RESULTADOS**

CAPITULO 6

6.0 INTERPRETACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

6.1 INTRODUCCION

La interpretación y discusión de los resultados de la referencia se ha llevado a cabo teniendo en cuenta que los parámetros de detonación y explosión, especificaciones técnicas o características del S/AN/FO son función directa de:

6.1.1 Tipos de ingredientes y/o insumos usados.

6.1.2 Formulación de la mezcla explosiva.

6.1.3 Proceso de fabricación (proceso productivo)

6.1.4 Método, forma y aproximaciones de los diversos controles de calidad, etc, etc.

6.2 DETERMINACION DEL S/AN/FO OPTIMO

Para llevar cabo la determinación de la referencia, los resultados dados por la computadora (PRINT OUTS), los cuales contiene los parámetros de detonación y explosión para trece tipos de S/AN/FO's, son tabulados y mostrados en la tabla 1.

Observando los resultados contenidos en la tabla mencionada anteriormente, se puede ver que el tipo de mezcla 8 pertenece al S/AN/FO óptimo; ya que la formulación de dicha mezcla explosiva comercial cumple con todas las condiciones de optimalidad mencionadas anteriormente.

6.3 CURVAS COMPARATIVAS

Los diversos resultados dados por la computadora se han ploteado y de esta manera se han obtenido las diversas curvas comparativas que se muestran en las figuras siguientes: 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 respectivamente.

FIGURA 1 : OB DE LOS SANFOs

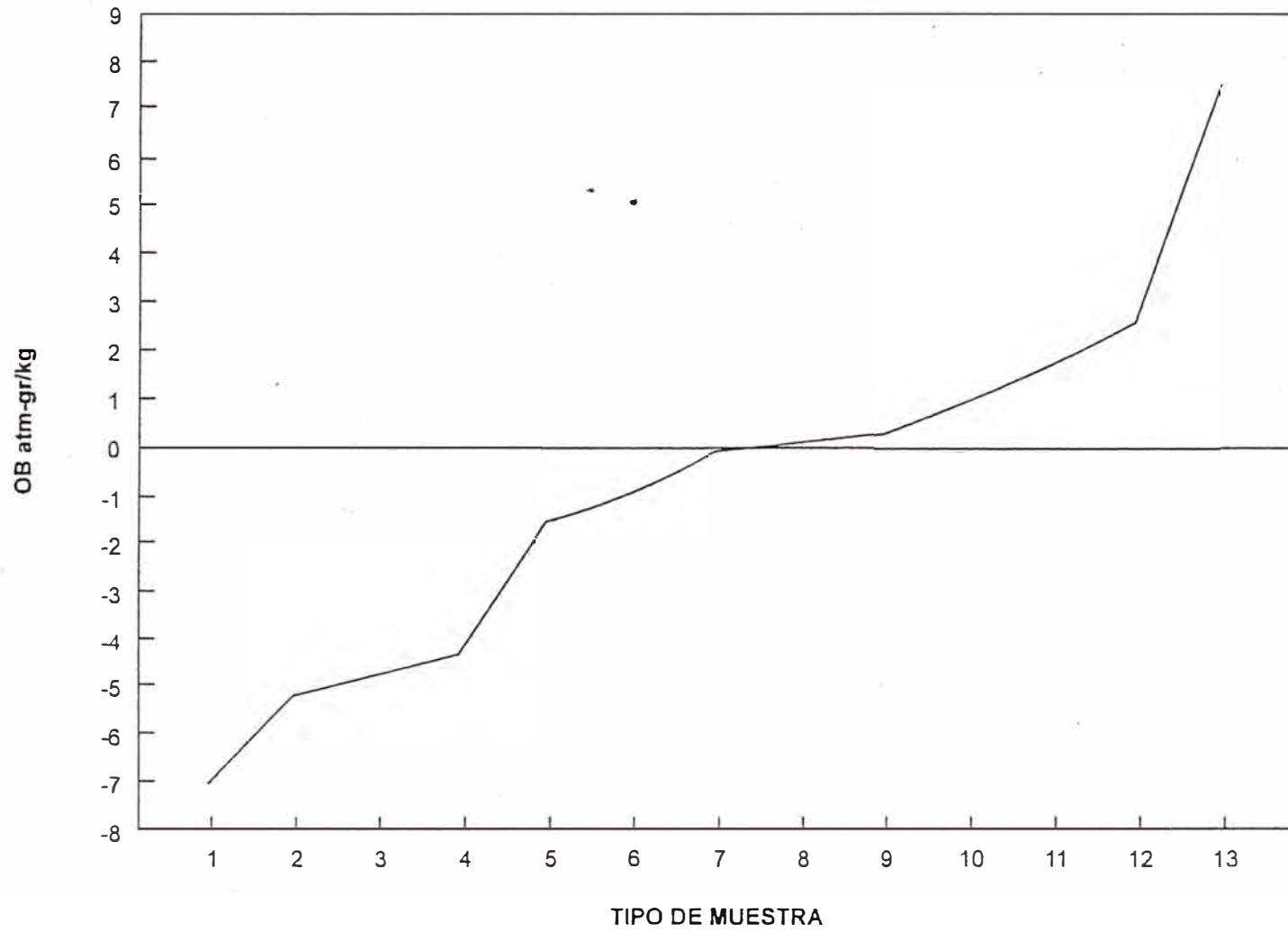


FIGURA 2 : OB vs. V o D

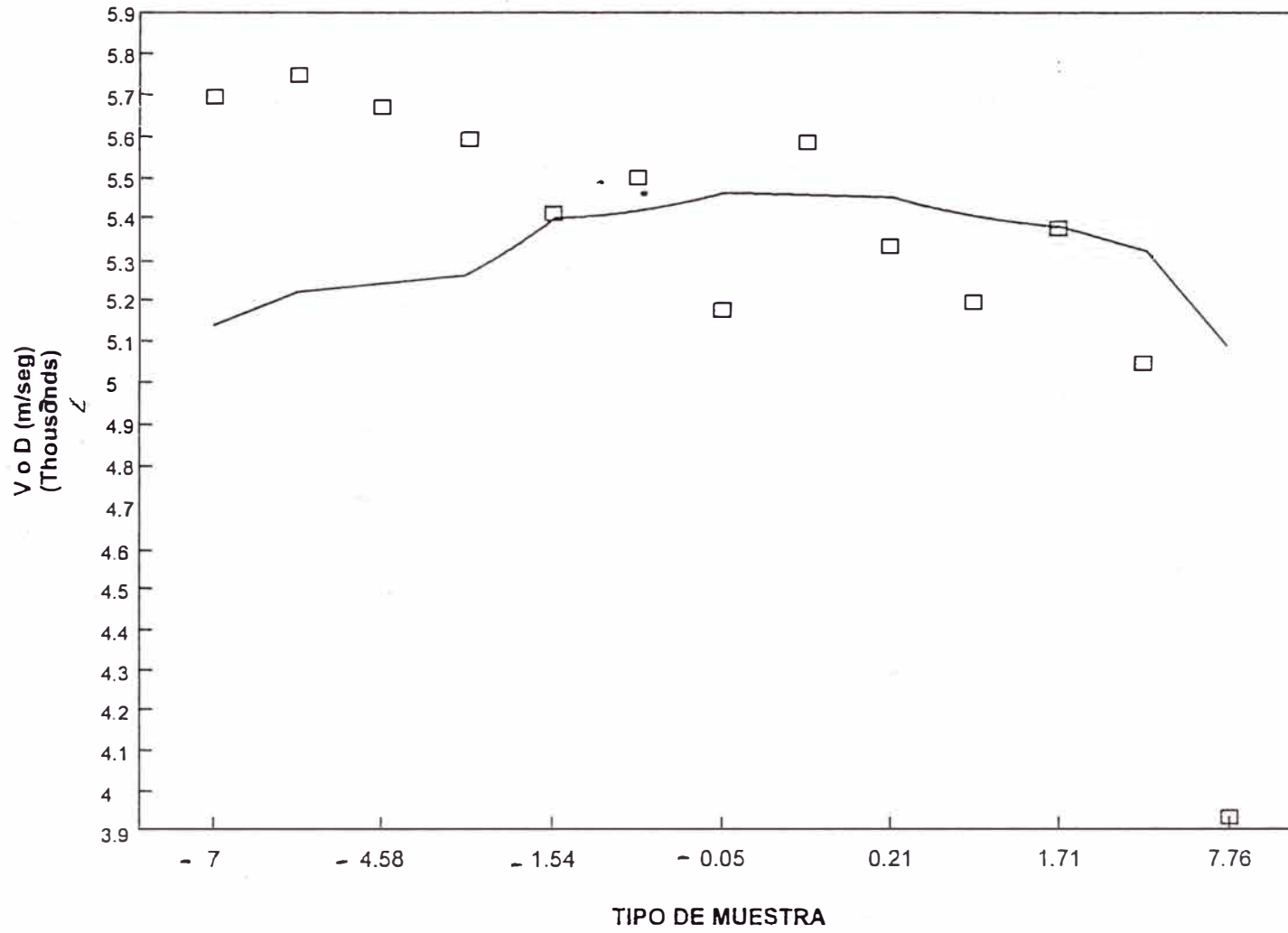


FIGURA 3 : OB vs. Qe

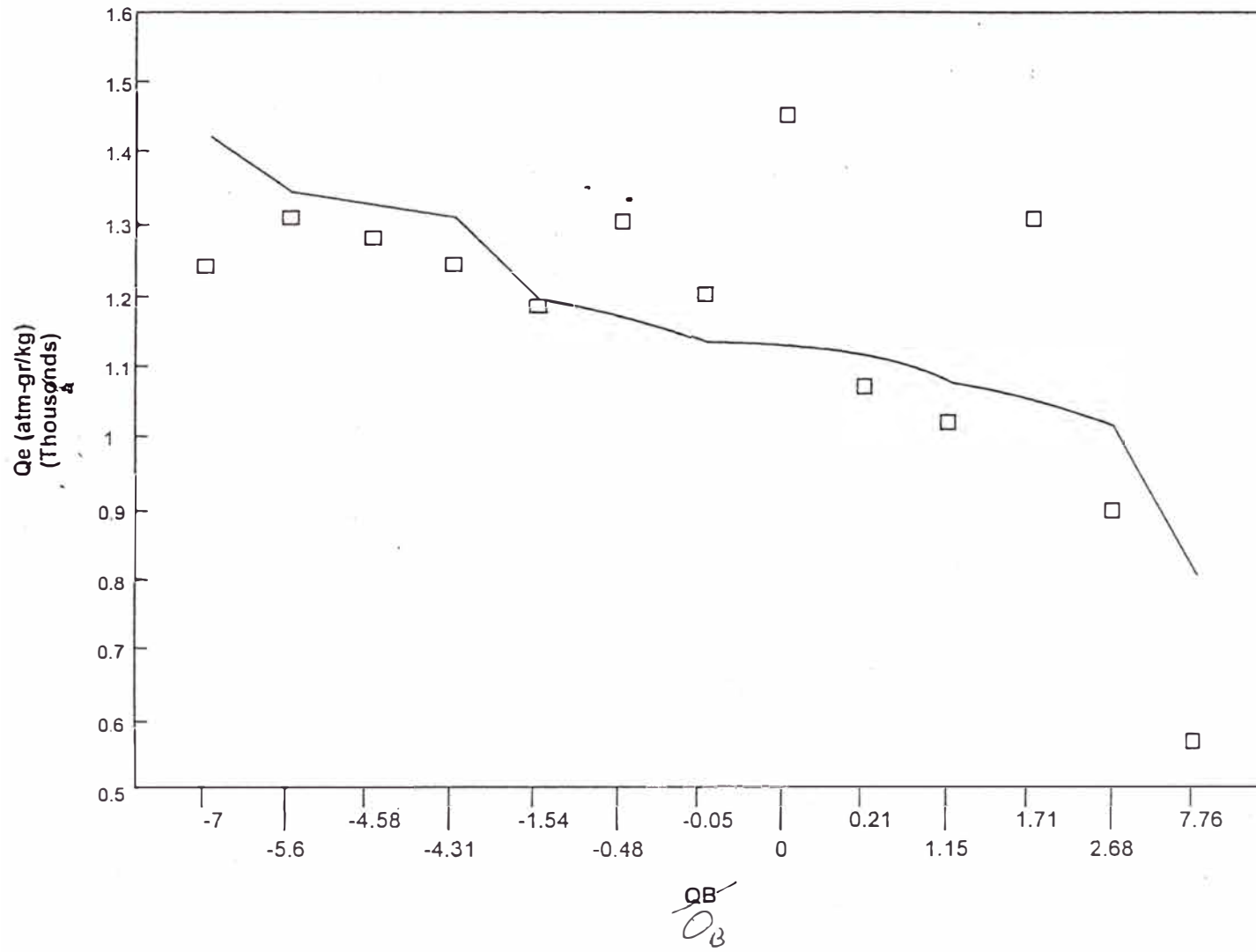


FIGURA 4 : PRESIONES DE LOS SANFOS

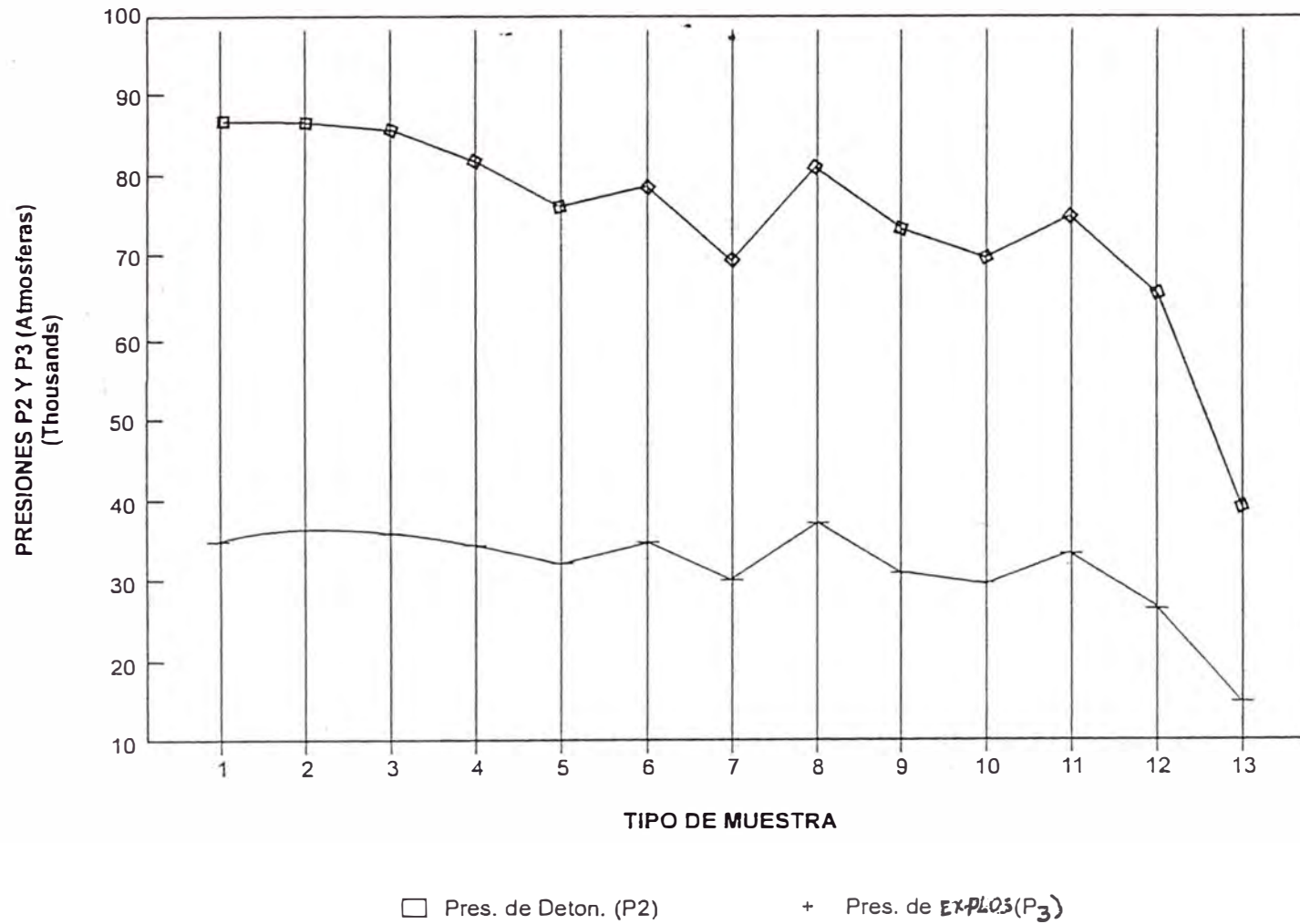


FIGURA 5 : Qe DE LOS SANFOs

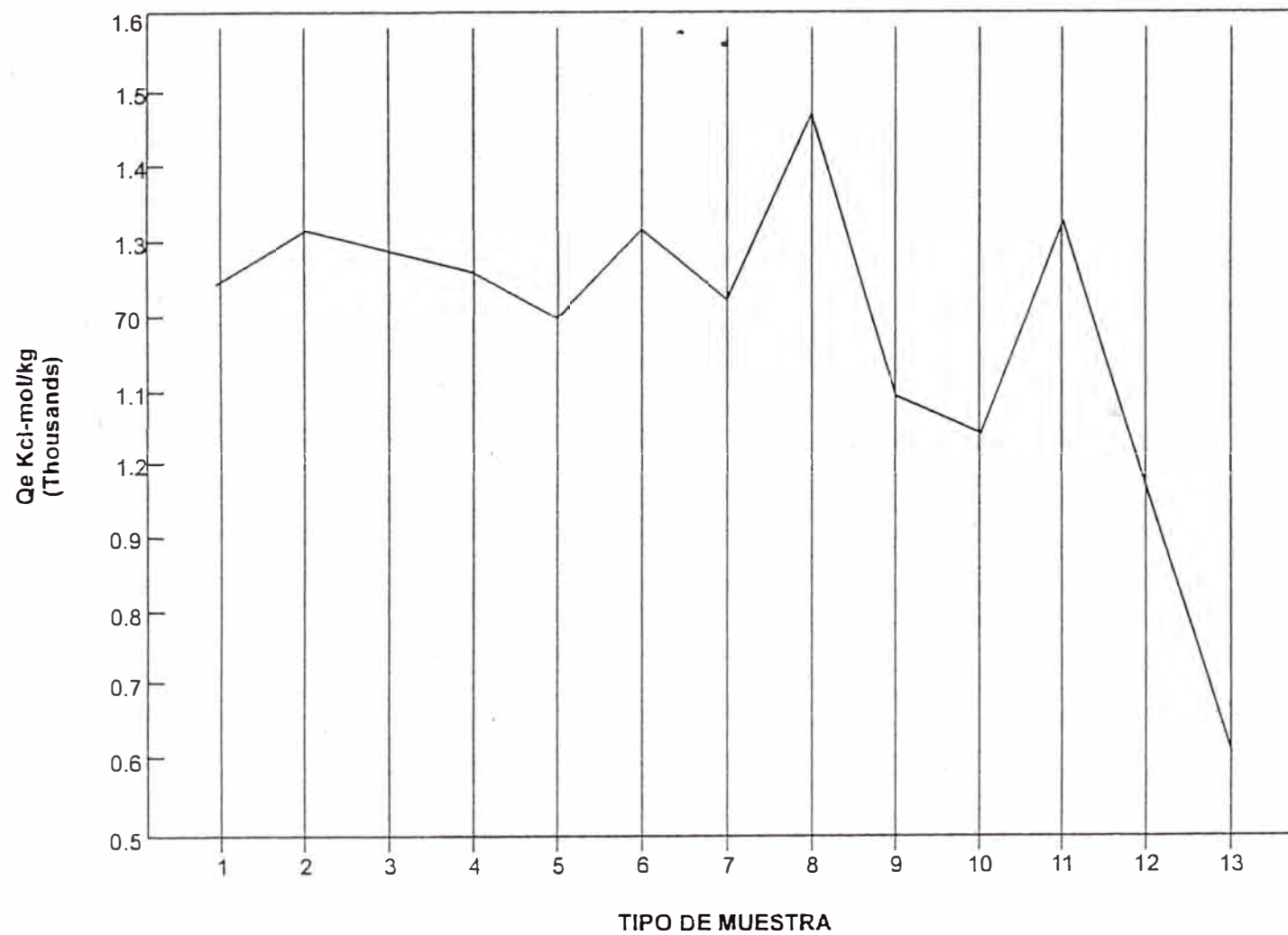


FIGURA 6 : V. o D. DE LOS SANFOS

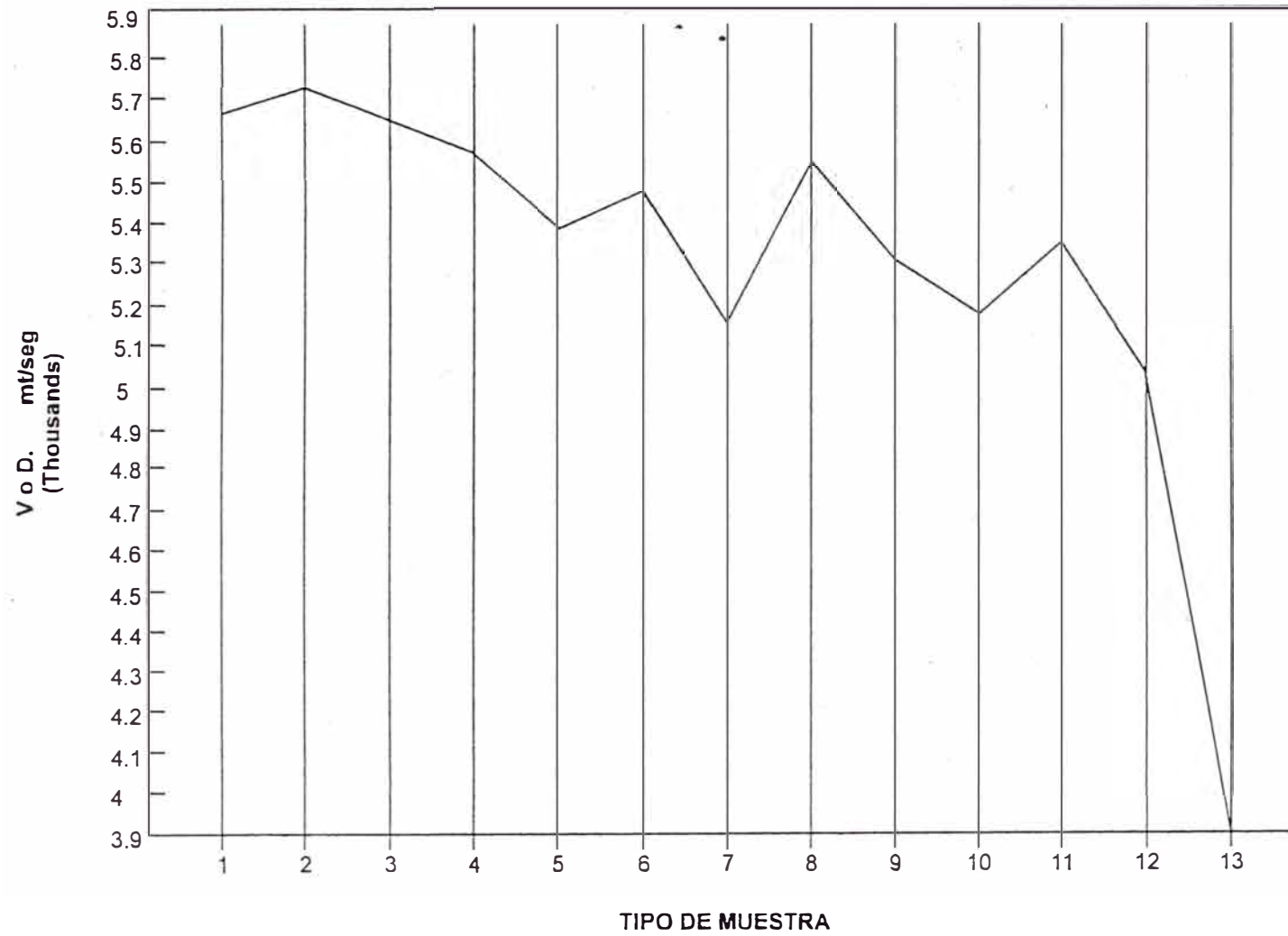
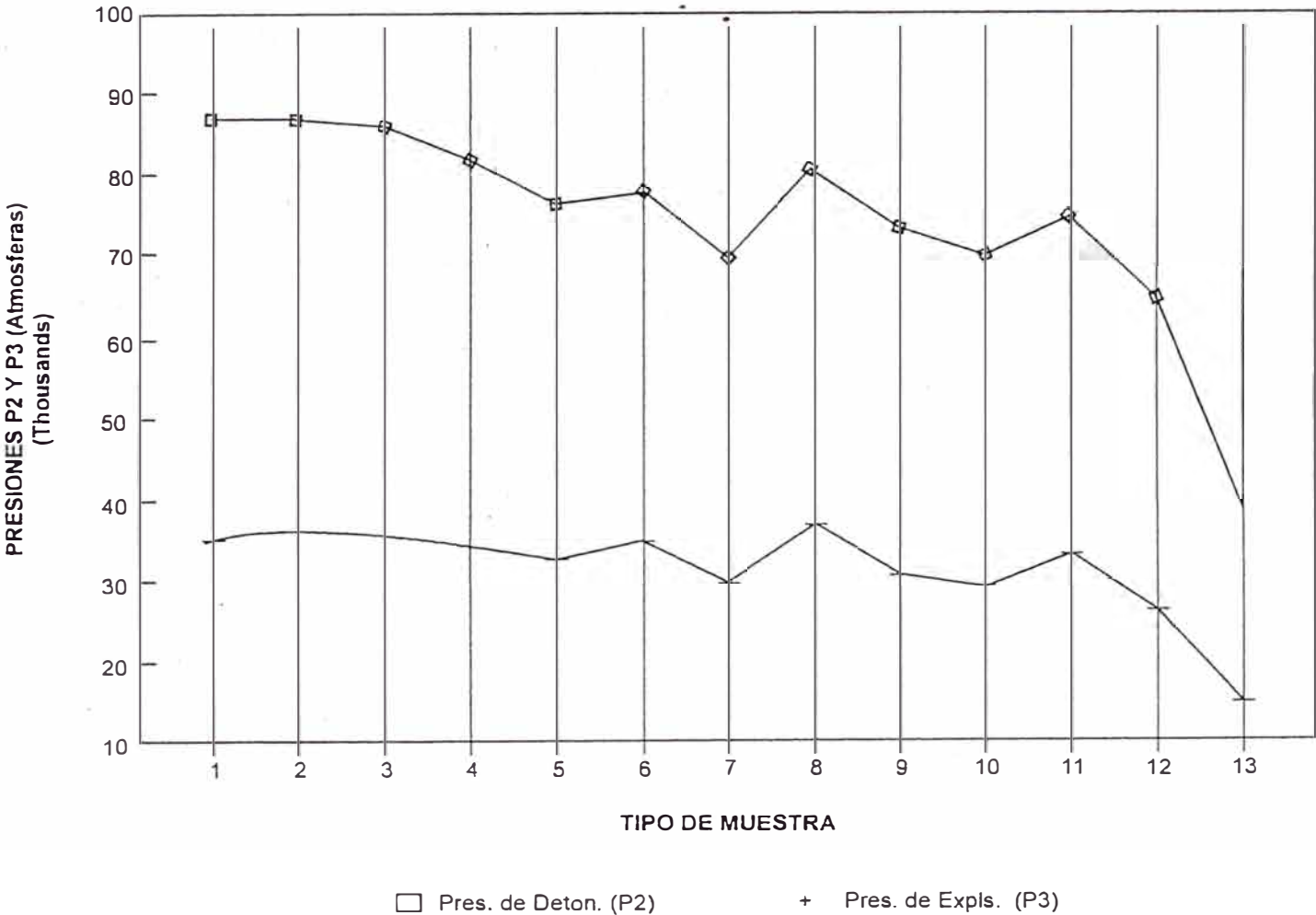


FIGURA 7 : PRESIONES DE LOS SANFOs



CAPITULO 7

APLICACIONES DEL S/AN/FO **EN EL PERU**

CAPITULO 7

7.0 APLICACIONES DEL S/AN/FO EN EL PERU

7.1 INTRODUCCION

Teniendo en cuenta que el Perú es un país mineralizado y que en la actualidad muchas empresas extranjeras están aduciendo extensos programas de exploraciones; por lo que se puede afirmar con bastante fundamento que al comenzar el tercer milenio muchos de los que hoy día se pueden llamar prospectos mineros se convertirán en grandes operaciones mineras. Es para ese entonces que se debe preparar al nuevo Ingeniero de Minas, para que pueda enfrentar los retos que el próximo milenio le exigirán.

Es por lo dicho que se propone el uso del S/AN/FO en el Perú; para de esta manera tratar de maximizar producción y productividad y a la vez minimizar costos de operación.

7.2 APLICACIONES DEL S/AN/FO EN MINERIA SUBTERRANEA

El S/AN/FO, puede ser usado en operaciones Mineras Subterráneas, donde exista un buen sistema de ventilación y a los diámetros de los taladros sean de 5” como mínimo, y no existan agua en las labores mineras.

7.3 APLICACIONES EN S/AN/FO EN MINERIA A TAJO

ABIERTO

Las aplicaciones del S/AN/FO, en la minería a Tajo Abierto tiene las mismas restricciones para la Minería Subterránea en lo que se refiere a diámetro de taladros ($\phi = 5''$) como mínimo y labores mineras secas, pero en cuanto a los demás sus aplicaciones no tienen ninguna otra restricción.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES

CAPITULO 8

8.0 CONCLUSIONES

1. A través del presente estudio de investigación se ha demostrado que es factible la formulación, elaboración y aplicaciones prácticas del agente de voladura seco llamado S/AN/FO.
2. Se debe también mencionar que el S/AN/FO; se está usando en varias operaciones mineras de voladura de rocas, con muy buenos resultados, como por ejemplo en Chile, U.S.A., Australia, etc, etc.
3. También se debe enfatizar que todos los insumos para la formulación y elaboración del S/AN/FO existen en el país.
4. Para desarrollar el modelo matemático y su correspondiente Software para calcular los parámetros de detonación y explosión del S/AN/FO; se

ha tomado como base los algoritmos postulados por la teoría termohidrodinámica.

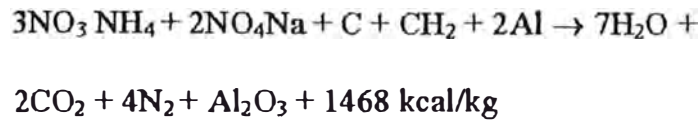
5. Empleando el Software mencionado anteriormente se han calculado los parámetros de detonación y explosión para trece formulaciones diferentes de S/AN/FO y cuyos resultados se muestran en la Tabla I; y que han servido para plantear las curvas de las figuras 1, 2, 3, 4, y 5 respectivamente.

6. Observando los resultados dados por la computadora (Print – Outs); se puede determinar que el S/AN/FO óptimo pertenece al tipo de mezcla explosiva Nº 8, cuya composición porcentual es la siguiente.

Nitrato de Amonio.....	49.00%
Nitrato de Sodio.....	36.70%
Carbón.....	2.50%
Petróleo.....	2.90%
Aluminio.....	8.90%

La tabla I, también muestra que el tipo de mezcla explosiva comercial Nº 8 (S/AN/FO) en el momento de la detonación produce un calor de explosión máximo que es de $Q_3 = 1468$ kcal/kg, y un balance de oxígeno, igual a cero, $Q_b = 0$; cumpliendo de esta manera con las condiciones de optimalidad respectivas.

La reacción Química de la ecuación del S/AN/FO óptimo es la siguiente:



7. En los resultados mostrados en la Tabla I, observando los trece tipos de mezclas explosivas comerciales se puede deducir que cuando el balance de oxígeno es mayor o menor que cero el calor de explosión (Q_3) es menor al generado por la detonación de la mezcla óptima y que también se genera gases venenosos.

8. Al llevarse a cabo un análisis de los costos mostrados en la Tabla I, se puede apreciar que en los tipos de mezclas explosivas comerciales N° 7 y 9, los costos son menores que el de S/AN/FO óptimo, por lo que se deberán llevar a cabo un, análisis con mayor profundidad para determinar mejor esta condición de optimalidad.

CAPITULO 9

RECOMENDACIONES

CAPITULO 9

RECOMENDACIONES

1. Los buenos resultados obtenidos usando el S/AN/FO en las operaciones mineras unitarias de voladura de rocas en otras partes del mundo, obliga a la minería peruana a comenzar a usarse la mezcla explosiva comercial llamada S/AN/FO; si se quiere maximizar producción y productividad y minimizar costos de operación en US\$/TM disparada.
2. Se debe tratar de usar mezclas explosivas comerciales óptimas en todas y cada una de las operaciones mineras unitarias de voladura de rocas. Para el caso del S/AN/FO óptimo se han determinado todas las características y sus parámetros de detonación y explosión a través del presente estudio de investigación
3. Para calcular los parámetros de Detonación y explosión de cualquier mezcla explosiva comercial se debe emplear modelos matemáticos y los softwares.

CAPITULO 10

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 10

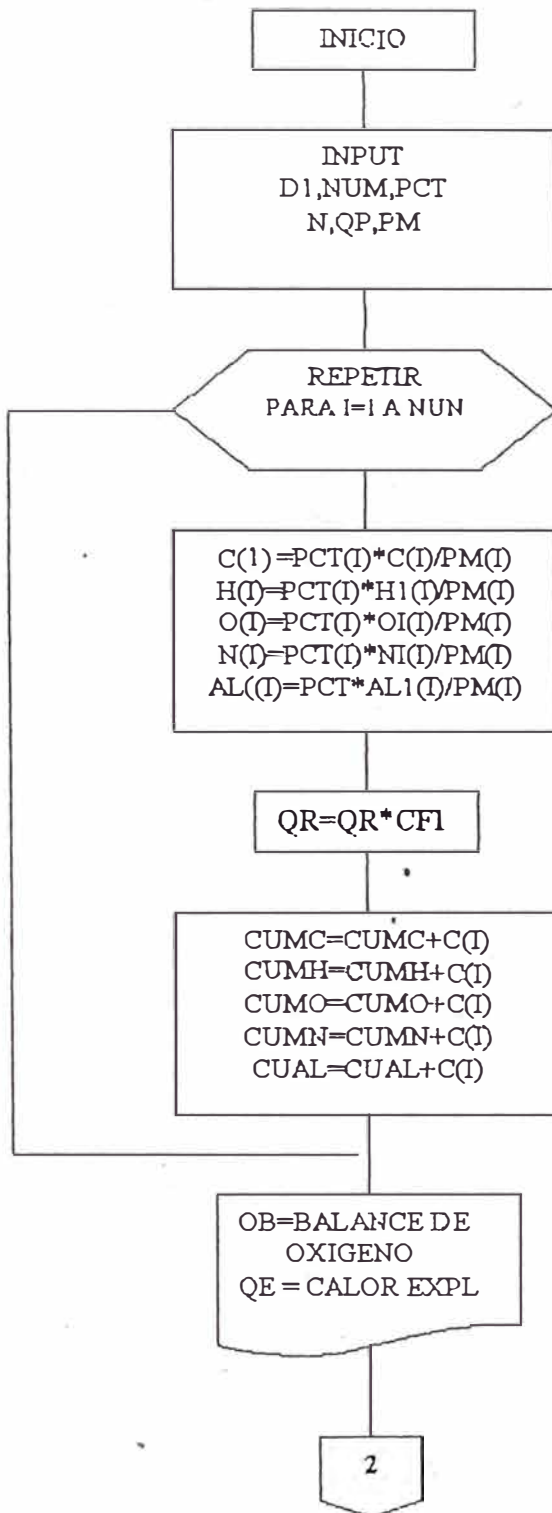
10.0 BIBLIOGRAFIA

1. AGREDA, C: “Introducción a la Tecnología de Explosivos” UNI, FIGMM, 1992.
2. AGREDA, C: “Tecnología de Explosivos”; Curso de Actualización, UNI Lima – Perú, 1987
3. AGREDA, C. “Explosivos Ecológicos”; PEMIRECO, Lima – Perú, 1997.
4. COOK, M, A: “The sciencee of Industrial Explosives” IRECO, CHEMICALS, 1974.
5. CHAVEE, W: El A1 “Efectos de las Variaciones del balance de Oxígeno en las propiedades de los Explosivos Secos” SANTIAGO DE CHILE, 1993.

6. GRUBB, R, J: "Some Factors Influencing The Explosive Properties of Ammonium Nitrate – Fuel Mixtures" INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON MINING RESEARCH.
7. COOK, M, A: "The science of High Explosives" N, Y, 1958.
8. EVANS, W, B: "Blended An/Fo Boreal Explosives", CIM BULLETIN, E & m, J – Set, 1990.
9. THORNLEY, GM & FUK, A.G: "Aluminized Agents" IRECO CHEMICALS.
10. YAN CIK, J.J. : "Monsauto Blasting Products An/Fo Manual" FEB. 1990.

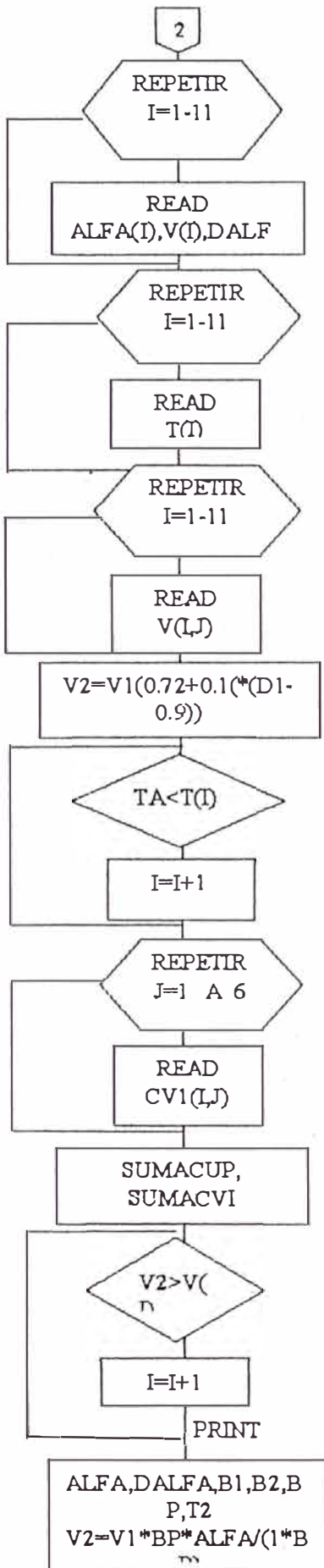
APENDICE

PARTE I: CALCULO DE Qe Y BALANCE DE OXIGENO



D1=DENSIDAD EXPLOSIVO
 NUM=NUMERO DE INGREDIENTES
 QE=CALOR DE EXPLOSION
 PM=PESO MOLECULAR
 N=NUMERO DE MOLES DE INGREDIENTES
 QR=CALOR DE REACTANTES
 QP=CALOR DE PRODUCTOS
 PCT=PORCENTAJES DE LOS INGREDIENTES
 C(I)=ATOMO GRA-CARBONO/KGR
 CUMC=SUMATORIA DE ATM-GRA/KG. DE CARBONO

CALCULO DE PERAMETROS DETONACION Y EXPLOSION



PARAMETROS DE DETONACION

TEMPERATURA ASUMIDA = TA EN GRADOS KELVIN
 SUMATORIA Cv PROMEDIO DE GASES = SUMACVI
 SUMATORIA Cv SOLIDOS Y GASES = SUMACVP
 NUMERO DE MOLES = SUMAN
 BETA PROMEDIO = BP
 VOLUMEN ESPECIFICO AJUSTADO = V2
 PRESION DETONACION = P2
 VELOCIDAD DE DETONACION = VOD
 DENSIDAD DEL EXPLOSIVO = D1
 DENSIDAD DE LOS GASES DE LA ONDA = D2
 V1=VOLUMEN ESPECIFICO DEL EXPLOSIVO
 V2=VOLUMEN ESPECIFICO DE LOS GASES Y EXPLOSIVO
 CV(I,J)=TABLA DE CAPACIDAD DE LOS GASES DEL CALOR MOOLAR IDEAL
 CV(I,J)= TABLA DE CO-VOLUMEN VS VOLUMEN ESPECIFICO
 T2=TEMPERATURA AJUSTADA GRADOS KELVIN

CALCULO DE PERAMETROS DETONACION Y EXPLOSION

PARAMETROS DE EXPLOSION

TN=TEMPERATURA ASUMIDA
 S = SUMATORIA DE Cu PROMEDIO
 T4=TEMPERATURA CALCULADA T3
 P3=PRESION DE EXPLOSION

