

# EMPLEO DEL ALUMINIO EN AGENTES DE TRONADURA SECOS



## EMPLEO DEL ALUMINIO EN AGENTES DE TRONADURA SECOS

Por  
*Explosivos Cardoen Ltda.*

*El uso del aluminio en mezclas explosivas se conoce desde antes de la Primera Guerra Mundial, limitándose su empleo por su alto precio en el mercado. La disminución de este precio incentivó a los estudiosos en el desarrollo de explosivos y ya, en 1957, el Dr. Cook y otros, hicieron notar las bondades de los explosivos aluminizados, desde el punto de vista de la potencia desarrollada, especialmente en el desarrollo de los acuageles en base a nitrato de amonio, en los cuales se utilizó una va-*

*riedad de aluminios en polvo.*

*Para lograr un aumento de la potencia en los explosivos aluminizados, se utiliza este metal en forma de polvo o granulado. Una mejor sensibilidad de este tipo de explosivo se consigue agregando aluminio en pequeñas escamas.*

*Paralelamente con el desarrollo de los acuageles, se incrementó el uso del aluminio en agentes de tronadura seco. Desde 1968, existen antecedentes que describen la mayor efectividad de los ANFOS con el incremento de aluminio granulado en concentraciones de 5 a 30%.*

*El empleo de agentes de tronadura seco aluminizados en minas*

*subterráneas, se inició en Chile a comienzos de 1977 en la Mina Los Bronces de la Compañía Minera Disputada de Las Condes, mina en que Explosivos Cardoen Ltda. realizó sus primeras experiencias. En los últimos años, se han realizado numerosas pruebas en minas subterráneas como Compañía Minera Mantos Blancos; El Teniente; Compañía Minera Exxon El Soldado y Cemento Melón.*

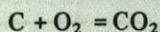
*Este sintetizado artículo tiene por objeto explicar estas experiencias en provecho de aquellas empresas que tengan interés en utilizar estas mezclas explosivas aluminizadas.*

### EFFECTO DEL ALUMINIO EN LA ENERGIA DE EXPLOSION DESARROLLADA POR EL AGENTE DE TRONADURA SECO

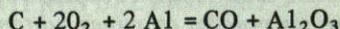
La adición del metal aluminio en polvo, a una mezcla explosiva, aumenta la energía de explosión liberada por la detonación y, por lo mismo, aumenta el efecto de tronadura que se consigue con el explosivo. El aluminio es el elemento más energético que se puede utilizar en forma práctica en la fabricación de explosivos.

En explosivos acuosos, el aluminio es agregado en forma de pequeñas escamas, las cuales tienen una gran superficie por unidad de masa que atrae pequeñas burbujas de aire, las cuales se adhieren a la superficie del aluminio. Dichas burbujas son comprimidas adiabáticamente, lo que junto a la alta reactividad del aluminio, producen puntos de alta temperatura que sensibilizan la mezcla explosiva acuosa.

El aluminio se oxida levemente en el frente de detonación, completando su oxidación total en forma retardada en el proceso de explosión. La energía producida por esta oxidación retardada del aluminio contribuye enormemente a la efectividad de los explosivos aluminizados. Por ejemplo, la oxidación completa del carbón es la siguiente:



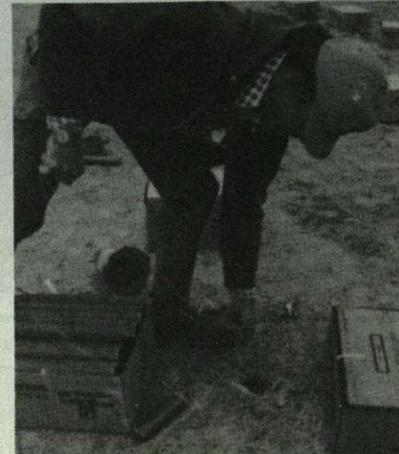
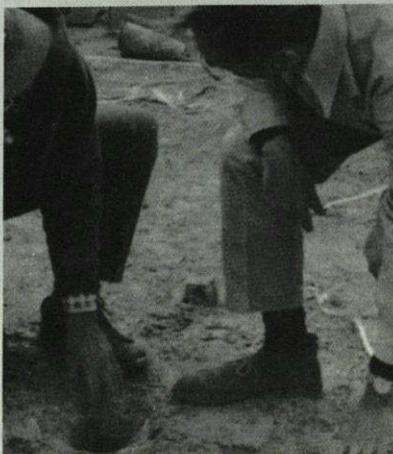
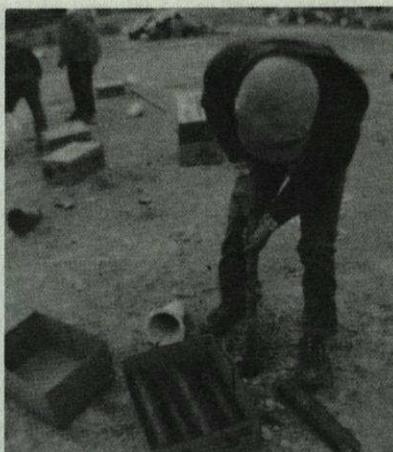
reacción que produce 94 KCal/gr-mol a 25°C al agregarse aluminio en polvo, el cual es un agente reductor más poderoso que el carbón, a la temperatura que éste prevalece en el proceso de explosión, la reacción sería la siguiente:



reacción que produce aproximadamente 425 KCal/gr-mol, lo que representa un incremento de 450% en el calor de reacción liberado, debido a la reacción del aluminio.

En la Tabla N° 1 se muestra el efecto del aluminio en la potencia del ANFO.

Contenido Al %	Densidad gr/cc	Potencia Relativa	
		En Peso	En Volumen
0,00	0,83	000	100
2,50	0,85	100	110
5,00	0,86	118	120
7,50	0,87	125	127
10,00	0,88	133	138
12,50	0,89	139	147
15,00	0,90	146	155



### CONCEPTO DE POTENCIA DE EXPLOSION DE LOS EXPLOSIVOS

El término potencia o fuerza de un explosivo se utiliza para medir el trabajo que es capaz de realizar el explosivo durante el desarrollo del proceso de detonación.

El término potencia fue primeramente aplicado en Estados Unidos a las dinamitas, cuando éstas consis-

tían en una mezcla de nitroglicerina y materia inerte (Kieselgur). Una dinamita 60% contenía 60% de nitroglicerina en peso y era tres veces más potente que una dinamita 20%. Posteriormente, en las dinamitas se sustituyó el material inerte por otros ingredientes activos: oxidantes y combustibles, que cooperaron con energía al explosivo. Consecuentemente, la potencia de las dinamitas no corresponde, en este ca-

so, al porcentaje de nitroglicerina contenida y hubo que elegir para compararla con una dinamita "patrón"; así, una dinamita 60% significa que posee una potencia en peso equivalente al 60% de la potencia de la dinamita patrón.

En la formulación de dinamitas nacionales se han variado algunos de sus ingredientes por problemas de costo y calidad. Por esta razón, una dinamita 60% nacional tiene una potencia diferente a una dinamita 60% de Estados Unidos u otro país.

Por lo indicado, el porcentaje con que se indican las dinamitas y otros explosivos, no tendría en la práctica validez.

Aunque no existe un procedimiento físico exacto para medir la potencia de un explosivo, se puede determinar, por métodos de comparación o de valorización práctica, el trabajo máximo producido por un explosivo, en relación al trabajo de un explosivo tipo de referencia. Los métodos más utilizados son:

- Prueba del mortero balístico.
- Bloque de plomo de Traulz.
- Cilindro de plomo.
- Etc.

Experiencias simples han demostrado que la energía química y el volumen de gases productos de la reacción de explosión, además de la densidad de carguío, son los factores que determinan el trabajo que el explosivo puede desarrollar.

De acuerdo a las investigaciones de los especialistas suecos V. Langerfors y B. Kilstrom, universalmente aceptadas, la potencia en peso de un explosivo, comparada con un explosivo tipo de referencia, queda representada por la siguiente expresión:

$$s = \frac{5}{6} \frac{Q}{3.700} + \frac{1}{6} \frac{V}{0,982}$$

en la cual:

s = potencia relativa en peso del explosivo;

Q = energía liberada por la reacción de explosión del explosivo expresado en KJ/Kg;

V = volumen de los gases producto de la detonación del explosivo a 0°C y 760 mm de mercurio,

expresado en m<sup>3</sup>/Kg.

Los factores 3.700 KJ/Kg y 0,982 m<sup>3</sup>/Kg corresponden al agente de tronadura seco ANFO (94/6) el cual por su amplia utilización en la minería nacional, es un patrón de

referencia apropiado.

En la tabla N° 2 se muestran varios valores de la potencia en peso (S) para los explosivos más utilizados actualmente, calculados con la fórmula anterior.

**TABLA CON POTENCIA GELATINA, EN PESO PARA DIFERENTES EXPLOSIVOS**

Tipo de explosivo	Energía KJoule/Kg	Volumen Gases m <sup>3</sup>	Potencia (S)
ANFO (94/6)	3.700	0.982	1,000
T.N.T. (Trotil)	4.688	0.684	1,172
P.E.T.N.	5.092	0.845	1,470
Tetril	4.228	0.724	1,070
Tronex No 1	3.662	0.900	0,978
Tronex No 2	3.558	0.910	0,956
Amon Gelatina 60%	3.906	0.830	1,020
Amon Gelatina 80%	4.416	0.900	1,147
Gelatina alta velocidad 60%	4.814	0.720	1,206
Mexal 200	4.902	0.954	1,063
Mexal 400	4.403	0.857	1,115
Mexal 600	4.609	0.896	1,190
Mexal 800	4.910	0.868	1,254
Mexal 1000	5.213	0.839	1,316
Mexal 1500	6.156	0.748	1,514
Amatol (79/21)	4.225	0.894	1,104
LFB Dynamite	5.000	0.850	1,190
Hidrex 200	3.223	1.071	0,908
Hidrex 300	3.926	1.394	1,121
Hidrex 400	3.621	1.209	1,021

Los valores en potencia (S) están relacionados al ANFO (94/6) y se calculan de los folletos de información técnica de las empresas fabricantes de explosivo.

### LIMITACIONES Y SEGURIDAD EN EL USO DE EXPLOSIVOS ALUMINIZADOS

A continuación se señala las normas e indicaciones de las características, manipulación, uso, almacenamiento, transporte y seguridad para los trabajos en los que se emplea los explosivos tipo Mexal y Sanfos aluminizados.

La utilización de estos explosivos, aún cuando se ajusta a normas básicas, no es un procedimiento rígido, dependiendo su mayor éxito del estudio de la naturaleza de lo que se necesita tronar y de la experiencia del personal que interviene en la operación.

Previo a cualquier uso de un explosivo debe establecerse el sistema de seguridad más adecuado para proteger tanto al personal como a las instalaciones que estén ubicadas dentro del área de trabajo.

### INICIACION

Cualquier tipo de roca ofrece el confinamiento suficiente para una propagación segura de la onda de reacción desarrollada por los explosivos del tipo Mexal y Sanfos aluminizados, primados adecuadamente, por un explosivo de una potencia conveniente. Los explosivos tipos Mexales son sensibles a iniciadores equivalentes a Pentolita, Gelatina

Alta Velocidad 60%, Tronex N° 2 o similares. Los Sanfos aluminizados son sensibles a iniciadores equivalentes a Pentolita y Gelatina Alta Velocidad 60%.

Al utilizar un cartucho de dinamita como iniciador en un barreno, debe dividirse el cartucho en mitades iguales y juntarse las dos porciones paralelamente para aumentar su diámetro efectivo. La razón entre el diámetro y el largo del iniciador es un factor importante para la selección de la prima adecuada.

La sensibilidad de los explosivos Mexal y Sanfos Aluminizados es tal que no se inicia con golpes ocasionales, presentando un grado de seguridad similar al Anfo 94/6, lo que se debe al hecho que ninguno de sus ingredientes es por sí sólo explosivo. Esto representa una absoluta seguridad en su manipulación, transporte y almacenamiento.

## GASES RESIDUALES

En una detonación ideal de oxígeno equilibrado, la tronadura de los explosivos Mexal y Sanfos Aluminizados, al igual que otros explosivos, tiene buenas características de gases. Condiciones de detonación marginal o descomposición anormal de los explosivos provocan la formación de gases nocivos.

Algunos de los principales factores que afectan las características de los gases y sobre los cuales hay que mantener un especial control, son los siguientes: 1) composición del explosivo; 2) forma de iniciar la detonación; 3) humedad; 4) agentes de revestimiento presente en el nitrato de amonio y 5) variaciones del diámetro crítico.

Cuando la reacción de explosión ocurre estequiométricamente, los gases se componen de anhídrido carbónico, nitrógeno molecular, vapor de agua. Si la explosión se realiza bajo condiciones de reacción marginal, se presentan gases nocivos como el dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono.

Los explosivos aluminizados Mexal no producen dolor de cabeza, lo cual es característico de los explosivos que contienen nitroglicerina.



## CARGUIO DE LOS TIROS

La efectividad y rendimiento de una tronadura depende en gran parte del método de introducir el explosivo en las perforaciones, con lo que se pretende conseguir un buen aprovechamiento de la perforación, con una elevada concentración de energía en el fondo de la misma.

En barrenos pequeños los explosivos Mexal se cargan a las perforaciones con máquinas neumáticas del tipo Jet-Anol o similares. En su desarrollo se puede utilizar un eyector tipo Vénturi. Todo tipo de cargador en el momento de la operación debe conectarse a tierra por un cable eléctrico soldado a una plancha de cobre y utilizar una manguera semiconductora para el carguío a las perforaciones.

## SEGURIDAD

El explosivo Mexal tiene una sensibilidad apropiada para su utilización en cualquier diámetro hasta un mínimo de 3/4". Los Sanfos Aluminizados se recomienda utilizarlos en diámetros superiores a 3".

En labores subterráneas, antes de cargar un tiro con Mexal, se debe regar la frente con agua, verificar las conexiones a tierra y comprobar que la manguera de carguío sea del tipo semiconductor.

Derrames de Mexal en el piso, por cualquier motivo, deberán ser disueltos con agua de inmediato.

En caso de tiros "quedados" con carga de Mexal se procede como sigue:

a) Se extrae el taco de los tiros "quedados" inyectando agua a presión con manguera, la cual debe estar libre de todo tipo de partes metálicas.

b) Se extrae el Mexal de las perforaciones, lavando los tiros con agua mediante manguera libre de partes metálicas. El Mexal debe eliminarse totalmente aunque se encuentre sinterizado (congelado).

Para destruir Mexal y Sanfos Aluminizados en malas condiciones se deben disolver éstos en agua, para lo cual debe liberar previamente de todo tipo de envoltorio.

## HIDROSCOPICIDAD

La humedad afecta el comportamiento de los explosivos Mexal y Sanfos Aluminizados, debido al carácter hidrosκόpico del material y su solubilidad en el agua.

A medida que aumenta el contenido de agua, más allá del 4%, su potencia y sensibilidad disminuye hasta que, con un contenido de 8 a 10% de agua, estos explosivos no detonan.