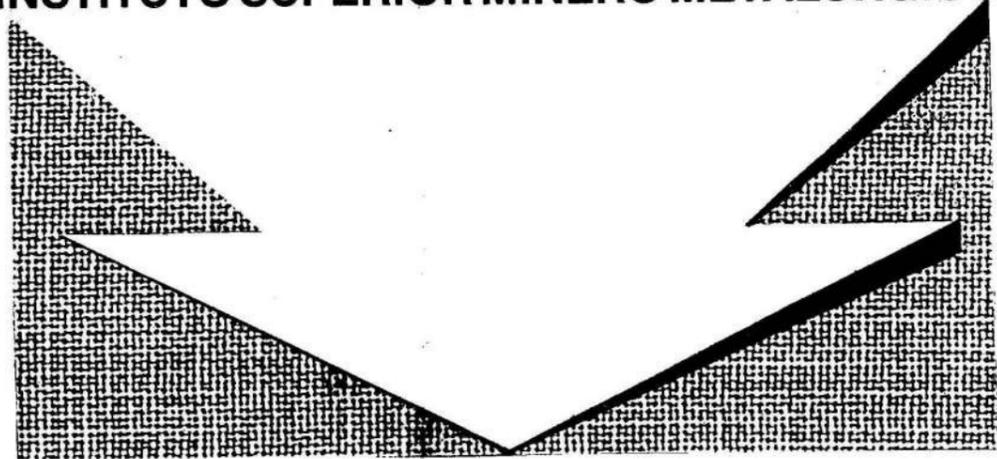


# EVENTOS INTERNACIONALES 1993

DEL

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO



## TALLER INTERNACIONAL DE MINERIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Fecha: febrero de 1993  
Suscripción: \$ 80.00

## 2a. CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA Y MINAS

Fecha: octubre de 1993  
Suscripción: \$ 80.00

## SEMINARIO INTERNACIONAL DE INFORMATICA EN LA RAMA MINERO-METALURGIA

Fecha: diciembre de 1993  
Suscripción: \$ 80.00

Para mayor información diríjase a:

C.Dr. Rafael Guardado Lacaba  
Instituto Superior Minero Metalúrgico  
Vice-Rectoría de Investigaciones y Post-grado  
Las Coloradas,  
Moa, Holguín  
Cuba  
Telef.: 6 6678 - 6 4476 - 6 4214

**MOA** La  
Región Minera  
de Cuba

## UNA HIDROEXPLOSION PARA LA EMBUTICION DE PLANCHAS METALICAS

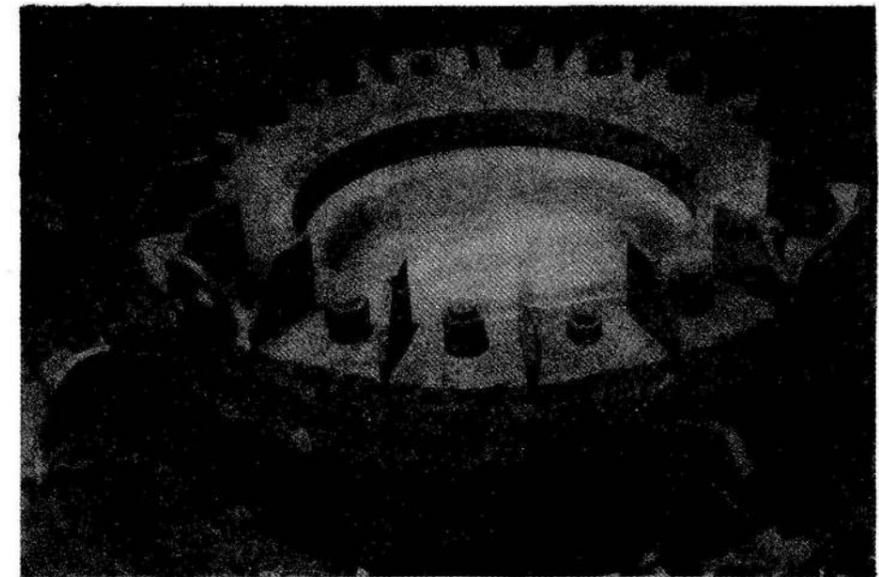
Ing. Benito Casals García; Ing. Jesús Leyva Ramírez; C.Dr. José Otaño Noguel

Instituto Superior Minero Metalúrgico

**RESUMEN:** En este trabajo se pone de manifiesto un método de fabricación de planchas embutidas, que aunque, data de hace varias décadas todavía no se ha logrado generalizar.

Aprovechando la energía emanada de una explosión en el agua, una chapa (disco) que está sujeta a una matriz abierta es obligada a tomar una deformación plástica, así nos conviene para ser usada en la construcción de piezas y equipos de las industrias, después de un proceso de maquinado o de corte por gas.

**ABSTRACT:** In this work, a method is employed in fabrication of casting plates, even if old data steel hasn't been generalised. Taking advantage of the energy which comes from the explosion in the water a disk subjected to an open matrix is forced to take up a plastic deformation thus it is convenient to be used in the fabrication of industrial equipment, after a mechanical process or gas cutting.



La utilización práctica de una explosión no está limitada a la fragmentación de suelos y rocas, el desarrollo ulterior de las teorías que gobiernan este fenómeno ha permitido su uso en otros campos de la ciencia y la técnica, en este caso haremos un esbozo del proceso de embutición en una plancha metálica por medio de una explosión en el agua.

La fabricación de prensas hidráulicas complejas, estampas macizas y matrices de aceros resistentes traen consigo un alto costo de inversión y tiempo. Enormes recursos materiales deben invertirse en la tecnología de

embutición y estampación por el método convencional sin embargo esas prensas de hasta varios miles de toneladas pueden ser sustituidas por cargas explosivas de bajo costo que, utilizadas hábilmente, pueden dar con rapidez y gran precisión la terminación de piezas de configuración compleja.

El uso de explosivos para la conformación y tratamiento de los metales data posiblemente desde 1876 cuando Adamson hizo algunas pruebas para planchas de calderas [1]. Pero no es hasta la era de los viajes espaciales, que se le da un impulso decisivo por ser un método seguro

para conformar los materiales de alto valor de resistencia, los cuales eran exigidos para estos propósitos. Hoy el mundo desarrollado y algunos países de poco desarrollo usan este método para fines específicos, por ejemplo, tiene un gran uso en el Instituto de Aviación de Jarkov en la URSS, en Cuba su progenitor es Gabriel Meriño Pierre quien desarrolló varios usos de los explosivos en el CENIC para con los metales [2]. Aquí se describe cómo es el proceso de embutir una plancha de 800 mm de diámetro y 20 mm de espesor cuyo esquema responde al montaje de la Foto 1.

Los explosivos son sustancias termodinámicamente inestables los cuales al cambiarse el nivel de inestabilidad buscan una posición más estable; pero con una liberación muy rápida de una gran cantidad de energía y gran volumen de gas, esto trae como resultado un brusco aumento de la presión en el medio circundante, a consecuencia de lo cual surge una onda de choque y un campo de tensiones. La energía de una explosión está contenida de forma latente, potencial, en las moléculas del explosivo o, con más detalle en las capas de electrones de esas moléculas. La idea de la explosión está ligada a una fuerte acción mecánica, o sea, a la aparición de fuerzas mecánicas aplicadas al medio y a los diversos cuerpos que rodean el lugar. Esto es imprescindible para que estemos en presencia de una explosión.

La transmisión de energía liberada de la explosión depende estrictamente del medio encargado de hacer dicha transmisión, es decir, para ganar en claridad, el pulso de presión no llega con igual intensidad a un mismo objeto cuando entre este y la explosión lo que hay es aire, agua u otros medios más densos. Entre los medios más económicos para hacer llegar la presión hasta la pieza a trabajar está el agua, cuyas características de líquido lo hacen incompresibles  $4,2 \times 10^{-5}$  [3] (disminución del volumen al aumentar la presión en una atmósfera) y en ella la onda de choque puede ser estudiada partiendo de las mismas premisas en las que se basa el estudio de la onda de choque en la atmósfera. Se puede considerar el agua como un gas, extraordinariamente comprimido por las fuerzas moleculares, es decir, con una fortísima atracción entre sus moléculas, dicha acción comprime tanto al agua como si sobre esta actuara una presión externa que superase unas 10 000 veces la presión atmosférica normal.

El cálculo de la sobrepresión en onda de choque en el agua era considerado hasta no hace mucho muy complejo e irrealizable, sin embargo, con la aparición de las computadoras y las máquinas calculadoras se pueden hacer dichos cálculos con un conocimiento elemental de la matemática.

Como ya nos hemos decidido por tomar el agua como elemento que va a servir de punzón para empujar la rodaja hacia una posición dada, daremos algunas de las fórmulas que se usan en la práctica para saber qué presión llegó a la pieza para una carga explosiva y una distancia dada.

Las más usadas en todas las bibliografías es [1]

$$P_{m\acute{a}x} = A \left[ \frac{W^{1/3}}{R} \right]^\alpha$$

donde:

W - es el peso de la carga

R - distancia desde el centro de la carga a la pieza

A y  $\alpha$  - son constantes que dependen del tipo de explosivo.

Por ejemplo; cuando la carga está dada en kg, y la distancia en m para TNT.

$$P_{m\acute{a}x} = 533 \left[ \frac{W^{1/3}}{R} \right]^{1,13} \text{ [kgf / cm}^2\text{]}$$

Esta fórmula nos da el valor máximo de la presión en el frente de la onda de choque, pero para obtener el valor de la presión en cualquier instante después de la detonación entonces tiene una ley exponencial dada como:

$$P = P_{m\acute{a}x} \cdot e^{-t/\theta}$$

P - es la presión después de un instante t

$\theta$  - es la constante en función de los parámetros de la carga y es igual al tiempo que necesita la presión en alcanzar 1/e el valor de la presión pico ( $P_{m\acute{a}x}$ ).

Esta última fórmula tiene un carácter teórico porque en realidad la presión en un instante dado para este uso no nos dice mucho. En la Tabla 1 damos otras fórmulas mediante las cuales al calcular la presión se obtienen resultados semejantes.

Por otra parte si se integra la expresión de la presión con respecto al tiempo se obtiene el impulso específico de la onda en el agua [1].

$$I = BW^{1/3} \frac{W^{1/3}}{R}$$

donde:

B y  $\beta$  - son constantes que dependen del tipo de explosivo a usar, por ejemplo: para TNT B = 1,46 y  $\beta$  = 0,89

Para lograr la deformación deseada de la pieza que se trabaja (rodaja) algunos parámetros pueden ser señalados a tener en cuenta.

- El tipo, cantidad y forma de la carga.
- La distancia desde el centro de la carga a la pieza (R)
- La geometría de la matriz
- La columna de agua por encima de la carga

Para la conformación bajo agua el explosivo no puede ser higroscópico y no debe disolverse en ella, debe pertenecer a la clase de explosivos potentes, generalmente en polvo para darle la forma deseada por el que ejecuta la acción, la cantidad depende de la capacidad de realizar trabajo la explosión, es decir, la energía requerida para la deformación, la cual es la fracción que llega hasta la pieza.

Existen varias fórmulas para determinar la cantidad de explosivo que se necesitaría para obtener una profundidad del embutido dada.

Según [9] esta fracción depende del ángulo sólido comprendido entre el centro de la carga y el borde del diámetro a conformar.

El trabajo de la fuerza de deformación viene dado para una plancha circular.

$$A_d = \pi \sigma_{(0,2)} \delta f_{m\acute{a}x}^2$$

La expresión indica que la energía absorbida por la rodaja varía con el cuadrado del desplazamiento en el centro ( $f_{m\acute{a}x}$ ).

Igualando este trabajo a la energía del explosivo en el medio y usando el concepto de ángulo sólido se tiene que:

TABLA 1

No.	Autor	Fórmula $P_m = f(W,R)$	Bibliografía	Descripción	Medio usado
1	Cole	$P_m = a \left( \frac{W^{1/3}}{R} \right)^b$	[4]	a,b constante del explosivo W = 150 kg TNT R $\geq$ 15 m	Agua
2	Cole	$P_m = 0,07031 \cdot 3,97^b \cdot a \left( \frac{W^{1/3}}{R} \right)$	[5]	a = 2,5 $co^4$ b = 1,5	Agua
3	Rudnay Susanszky	$P_m = 520 \left( \frac{W^{1/3}}{R} \right)^{1,28}$	[6]	W = 0,05 ÷ 45 kg R = 95 ÷ 150 m	Agua
4	Nawagin	$P_m = 530 \left( \frac{W^{1/3}}{R} \right)^{1,09}$	[7]	Para Trotil	Agua
5	Christophorow	$P_m = 857 \left( \frac{W^{1/2}}{R} \right)^{0,71}$	[7]	W = 0,01 kg $\frac{W^{1/2}}{R} = 0,3 \div 4 \text{ kg/m}$	Agua
6	Zürn	$P_m = \left( \frac{W^{1/3}}{R^{1,15}} \right) \cdot \sqrt{V_D}$	[8]	$V_D$ = velocidad de detonación de la sustancia explosiva	Agua

$$\pi \sigma_{(0,2)} \delta f_{m\acute{a}x}^2 = \frac{W \eta \Omega^2}{4}$$

W - energía química liberada de la explosión (J/kg)  
 $\eta$  - eficiencia del medio para transmitir la energía (en el agua  $\eta = 0,38 - 0,4$ )

$\sigma_{(0,2)}$  - tensión de fluencia del material.

$f_{m\acute{a}x}$  - deformación máxima del centro de la pieza (depende del diámetro de la matriz más de una parte recta).

$\Omega$  - ángulo sólido suscrito entre la carga y la rodaja.

La forma de la carga se ha determinado experimentalmente que obtener una forma elíptica debe ser cilíndrica-plana, para otros trabajos cada forma da una deformación diferente. La distancia a la pieza está basada en el criterio de una carga puesta en el centro dando la máxima deformación con una distribución uniforme de los esfuerzos efectivos.

$$\epsilon_{ef} = F \left( \frac{R}{D}, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3 \right)$$

Se ha determinado que  $\epsilon_{ef}$  es constante. Cuando se cumple que  $R/D = 0,167$ , tomando la rodaja la forma de un segmento de esfera (ver Figura 1) sabiendo que:

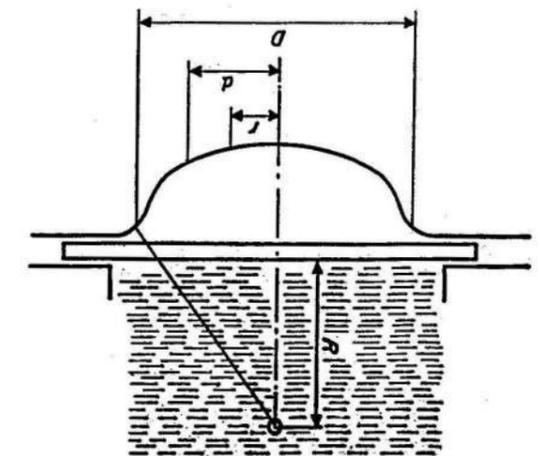
$$\epsilon_{ef} = \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_1 + \epsilon_3)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2}$$

donde:

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  - son las deformaciones principales

TABLA 2. Resumen de los esfuerzos para R/D = 0,167

R/D	r/d	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_{ef}$
0,167	0,166	0,066	0,066	- 0,122	0,125
0,167	0,333	0,072	0,060	- 0,122	0,126
0,167	0,500	0,084	0,057	- 0,130	0,135
0,167	0,667	0,079	0,047	- 0,117	0,121
0,167	0,833	0,073	0,010	- 0,080	0,089



Cuando hablamos de la geometría de la matriz nos referimos a que la matriz tiene que guardar ciertas relaciones, sus dimensiones con las de la rodaja (espesor y tamaño de la pestaña).

El radio de entrada de la matriz debe ser aproximada tres veces al espesor a trabajar; aunque no quiera decir que no se pueda hacer una cabeza elíptica de 20 mm de espesor en una matriz que tenga 30 mm de radio de entrada, el tamaño de la pestaña, el tipo de lubricante y el apriete influyen en los cálculos para obtener una deformación dada.

El apriete debe ser aquel que no permita que se forme arrugas en la plancha.

El tamaño de la pestaña debe ser el suficiente como para que no se salga del prensachapa.

La columna de agua por encima de la carga puede ser calculada por la expresión siguiente:

$$L_{min} = 3,15 \cdot 10^{-4} Co W^{1/3} \frac{R^{0,24}}{W^{1/3}}$$

donde:

$C_0$  - velocidad del sonido en el agua (1 450 m/s)  
W - carga explosiva  
R - distancia hasta la plancha

Esta expresión garantiza que la onda reflejada llegue a la superficie de la pieza en un tiempo mayor que el requerido para que actúe la onda de choque principal sobre la pieza a conformar.

Otros factores influyen en menos medidas para obtener una deformación de la pieza a trabajar así como existen teorías del estado plástico de los metales que explican la deformación a alta velocidad, es decir, deformación dinámica. La velocidad inicial axial de la parte central de la pieza puede calcularse como:

$$V_0 = \frac{2I}{\rho\delta}$$

donde:

I - impulso específico  
 $\rho, \delta$  - densidad y espesor de la pieza bruta.

Cuando el estampado termina y la velocidad se aproxima a cero entonces el tiempo de deformación puede calcularse como:

$$t = \frac{2f_{m\acute{a}x}}{V_0}$$

donde:

$f_{m\acute{a}x}$  - es la altura medida hasta el centro de la pieza.

La embutición de planchas simples tiene una gran aplicación; pero los autores han desarrollado una tecnología para conformar un acero plaqueado con soldadura también con explosivo, este proceso tiene que ser presidido por la eliminación de las tensiones residuales que producto del choque mecánico y la deformación en la zona de las intercaras de las planchas surgen, ya que se han embutido bimetales 20K + titanio técnico (20+3) mm respectivamente y 20 K + 10X17H13M2T (14 + 2,3 y 5) en matrices de 458 y 600 mm de diámetro.

### CONCLUSIONES

Conformar con explosivos es un método que puede usarse sin límite de tamaño pues la energía es ilimitada.

Las herramientas son más baratas que las usadas en el método convencional, pues se usaban materiales muy baratos y a veces en desuso.

La precisión en el método se garantiza y puede ser usado para reproducir formas complejas donde técnicas costosas no dan resultados satisfactorios.

- Las arrugas pueden ser reducidas al mínimo.
- El costo de los equipos es frecuentemente menos que los usados por el método convencional.
- El método es ideal para hacer prototipo.

### REFERENCIAS

1. COLE, R. H.: *Underwater Explosion*. New Jersey. Pricenton University Press, 1948.
2. DAVIES, R. AND E. R. AUSTIN: *Developments in high speed metal forming*, 1970.
3. KING, G. R.: "Explosive forming" in *Metal forming*. Inglaterra, p. 307-316, 1967.
4. MINGOT, DE G. T.: *Pequeño Larousse de Ciencias Técnicas*, Edición Científico-Técnica, La Habana, 1988.
5. ORAMAS, J.: "Conformación de metales con el uso de explosivos", en *Periódicos Granma*, septiembre 23 de 1986.
6. COLE, R. H.: *Underwater Explosion*, New York, Dover Publications, Inc., 1965.
7. RUDNAI, G. AND Z. SUSANZKY: *Theoretische und technologische probleme der herstellung von blechteilen durch Explosionisvzfahren*, Blech Coburg 22, 1975.
8. STEPANOV, V. G. AND I. A. SAVRON: *Hochenergie-Impulsmethoder der metallbearbeitung*. Leningrad, Masinstroenie, 1975.
9. SNAY, H. G.: *Untrewasser explosionen*. Jahrbuch der schiffbau fechnischen gesellschaft, Bd. 51, 1957.

## APROVECHAMIENTO DE LA SERPENTINA NIQUELIFERA EN LA NEUTRALIZACION DE LOS LICORES DE DESECHO DE LA EMPRESA "CMDTE. PEDRO SOTTO ALBA"

### PARTE I. NEUTRALIZACION DEL LICOR DE DESECHO (WL) CON SERPENTINA

Ing. Osvaldo Granda Ibarra, Academia de Ciencias de Cuba; Lic. Josefina Astorga Gutiérrez, Centro de Investigaciones para la Industria Metalúrgica

**RESUMEN:** En el presente trabajo fue estudiada la utilización del óxido de magnesio activo, formado durante la calcinación de la serpentina, como agente neutralizante del licor WL (licor de desecho del proceso tecnológico de la planta de níquel "Cmdte. Pedro Sotto Alba"); y de la pulpa limonítica a alta temperatura con lo cual se recupera el níquel contenido en la serpentina y se elimina satisfactoriamente del licor WL el ácido sulfúrico, sulfhídrico, aluminio, cromo, e hierro.

**ABSTRACT:** In the present work, the use of active magnesium oxide has been studied, formed during the process of calcination of the serpentine, as a neutralizing agent of the liquid WL (waste liquid product of the nickel plant of "Cmdte. Pedro Sotto Alba") and of the pulp limonitic at high temperature with which nickel contained in the serpentine is recovered and finally substances like sulphuric acid, sulphidric, aluminium, chromium and iron are carefully eliminated from the liquid WL.

### INTRODUCCION

En el proceso de lixiviación ácida a presión de los minerales lateríticos utilizados en la planta de níquel Pedro Sotto Alba de Moa, se obtiene en la última etapa del esquema tecnológico un licor de desecho (licor WL) que por su acidez y contenido de metales (ver Tabla 1) excede considerablemente los límites permisibles para su vertimiento en las fuentes naturales [5].

El tratamiento de la WL con serpentina calcinada y la recuperación posterior del níquel contenido en la misma es una de dichas excepciones.

A finales de los años 70 se aplicó en la planta Pedro Sotto Alba, el uso de parte del licor WL para el lavado en los sedimentadores de las colas de mineral limonítico [6], ello permitió disminuir el caudal de dicho residual,

TABLA 1. Composición química de los materiales

Material	Ni	Co	Fe	Mg	St	Mn	Al	Cr	A.L.*	H <sub>2</sub> S
Serpentina, %	1,22	0,03	8,4	16,9	0,14	0,12	0,55	0,17	-	-
Licor WL, gL <sup>-1</sup>	0,051	0,001	0,39	2,1	-	1,51	5,1	0,6	8,5	0,052

\*Acido libre

Desde la puesta en marcha de la planta dicho licor se ha vertido en la bahía de Moa a través del río Cabañas, destruyéndose gradualmente con ello el ecosistema de la zona. La situación actual de la contaminación requiere soluciones definitivas a los procesos existentes.

Es indiscutible que para los productores resultarían ideales aquellos procedimientos que evitaran los problemas de la contaminación del medio y a la vez permitieran un incremento de la producción, la rentabilidad o un mejor aprovechamiento de los recursos minerales de la zona, ello sin embargo es posible sólo en casos excepcionales.

pero se incrementó a la vez la concentración de algunos de los metales contenidos (Fe, Al, Mn, etc.). Para completar este proceso se propuso también mezclar adecuadamente el licor WL con la pulpa de desecho (colas), que contiene óxidos de hierro y de aluminio a fin de oxidar el ácido sulfhídrico y disminuir, además la concentración de ácido libre hasta obtener un pH cercano a 2. De esta manera se alcanzan niveles mínimos de ácido sulfhídrico (menos de 0,5 mg/L); pero el pH continua muy por debajo de los niveles permisibles, quedando aún disueltos los elementos metálicos que traía el licor WL [1].