

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:

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

donde:

l - 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 Explosionisvzfarem*, Blech Coburg 22, 1975.
8. STEPANOV, V. G. AND I. A. SAVRON: *Hochenergie-Impulsmethoder der metallbearbeitung*. Leningrad, Masinostroenie, 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].

La neutralización del ácido sulfúrico libre del licor WL y la precipitación de los metales disueltos se puede alcanzar satisfactoriamente con la adición de un agente alcalino. Sin embargo, los metales pesados requieren para su adecuada precipitación por hidrólisis, la elevación del pH hasta valores básicos, lo que puede perjudicar por otra parte, el vertimiento del licor residual y no se elimina tampoco el ácido sulfhídrico contenido en el licor [4].

En el CIPMM fue estudiado el tratamiento del licor WL con un esquema oxidación-neutralización, utilizando colas del proceso para eliminar el H<sub>2</sub>S y parte de la acidez libre; y la pulpa de coral para aumentar el pH y disminuir el contenido de metales que se encuentran en solución.

Los resultados del trabajo muestran que aunque se logran eliminar el ácido sulfhídrico y la acidez libre, aún permanecen disueltos metales por encima de los niveles permisibles para ser vertidos en cualquier cuerpo receptor, teniendo en cuenta además los elevados consumos de coral requeridos.

Considerando los aspectos estudiados en investigaciones anteriores [2] decidimos estudiar la utilización del óxido de magnesio activo, formado durante la calcinación de la serpentina, como agente neutralizante primero del licor WL y posteriormente de la pulpa limonítica a alta temperatura [3] con lo cual se recuperaría el níquel contenido en la serpentina. La presencia de óxido de hierro (III) en la serpentina calcinada debe posibilitar además la eliminación satisfactoria del ácido sulfhídrico del licor WL.

La muestra de serpentina utilizada en el trabajo procede de los yacimientos de la zona de Nicaro y por su caracterización química (ver Tabla 1), corresponde a una serpentina niquelífera medianamente intemperizada.

La muestra del licor WL se tomó a la salida de los sedimentadores de sulfuro de Ni + Co, de la planta Pedro Sotto Alba y se conservó herméticamente hasta su utilización en los experimentos, su pH fue de 1,6.

Para la calcinación se utilizó un horno mufla de laboratorio y cápsulas de porcelana.

Para la neutralización del licor WL con la serpentina calcinada se empleó un reactor de laboratorio de vidrio (Ø = 105 mm) de 1 L de capacidad, acondicionado con rompeolas de acrílico.

Para precisar las características de la serpentina calcinada como agente neutralizante del licor WL se efectuaron distintos experimentos en los que se variaron las cantidades de serpentina y se mantuvo constante el volumen de licor.

Las condiciones de operación en todos los experimentos fueron:

Temperatura de calcinación	- 650 °C
Tiempo de calcinación	- 45 min
Temperatura del licor WL	- 80 - 85 °C
Tiempo de neutralización	- 60 min

La relación entre la cantidad de ácido libre que tiene el licor WL y el que se produce por la hidrólisis del Fe, Al y Cr expresado como Σ Acido libre y las diferentes can-

#### INFLUENCIA DEL USO DE FLOCULANTES EN LA SEDIMENTACION

El mineral de serpentina por sus características físico-químicas presenta generalmente bajos valores para la velocidad de sedimentación y clarificación (rebosos con cantidad apreciable de sólidos). Esta dificultad puede so-

lucionarse con el empleo de floculantes. Se estudió la influencia de diferentes dosis del floculante Magnafloc 351 al 0,5 % con las características de sedimentación de las pulpas formadas.

tidades de serpentina añadida, expresado como g de MgO contenido en la misma fue variado desde 0,436 (se alcanza un pH = 8) hasta 1,307 (el pH fue 4).

En el rango estudiado se observó en general, una eliminación satisfactoria del ácido sulfúrico, el hierro, el aluminio y el cromo.

No obstante, debido a la utilización de la cola de serpentina en el propio proceso de Moa, el balance de materiales obliga a establecer un compromiso que limita el consumo de serpentina calcinada requerida para la neutralización del licor WL, sin que ello afecte la eliminación del ácido sulfúrico y sulfhídrico y la precipitación del hierro, aluminio y cromo que deben ser eficientes.

Tomando como base los experimentos previos, se seleccionaron las variables a estudiar así como sus valores (ver Tabla 2).

TABLA 2. Condiciones del diseño

Nivel	X <sub>1</sub> Σ Ac/MgO	X <sub>3</sub> Temp. calcinación	X <sub>5</sub> Tiempo de neutra- lización	X <sub>7</sub> Aire en la neutra- lización
MIN.	0,875	630 °C	60 min	0 L min <sup>-1</sup>
MAX	1,050	690 °C	120 min	0,03 L min <sup>-1</sup>

Para el trabajo se escogió un diseño experimental Plackett-Burman de siete variables y ocho experimentos.

En las Tablas 3 y 4 se muestra la composición del licor final y la eficiencia de eliminación de los principales contaminantes respectivamente.

En los resultados de los modelos matemáticos se observó que al aumentar la temperatura de calcinación de la serpentina y disminuir la relación Σ Ac. L/gMgO, los valores de pH obtenidos son mayores y mejora la eficiencia de eliminación de Al, Fe y H<sub>2</sub>S. El tiempo de neutralización y la inyección de aire al proceso no tuvieron prácticamente influencia en las respuestas analizadas.

En las Tablas 4 y 5 se observa que a pH 5,5 se alcanzan resultados satisfactorios desde el punto de vista de la eliminación de los principales contaminantes.

La poca influencia del tiempo de neutralización sobre los resultados del proceso nos llevó a experimentar con 30 min manteniendo la relación con la temperatura en 1,050 y 690 °C respectivamente. En los resultados se observa la eliminación de los principales contaminantes.

En las condiciones de neutralización seleccionamos como óptimo a escala de laboratorio:

Acido libre/MgO = 1,050  
T = 690 °C  
t = 30 min

sin inyección de aire y se obtiene una cola de serpentina con la composición que aparece en la Tabla 5.

La masa de la cola de serpentina con respecto a la masa de serpentina cruda seca se incrementó en 1,05 veces, como consecuencia de la precipitación de los metales disueltos en el licor WL.

TABLA 3. Composición del licor final gL<sup>-1</sup>

Prueba No.	Ni	Co	Fe	Mg	Mn	Al	Cr	H <sub>2</sub> S	pH
1	0,041	0,0091	0,0025	9,6	1,17	ND <sup>2)</sup>	ND 4)	0,0054	5,6
2	0,085	0,0123	0,62	8,6	1,50	0,40	0,40	0,0054	3,7
3	0,49	0,0093	0,0089	9,6	1,20	ND <sup>1)</sup>	ND 1)	0,0054	5,5
4	0,067	0,0115	0,042	9,4	1,40	0,0022	0,002	0,0054	4,3
5	0,083	0,0120	0,172	9,1	1,48	0,091	0,091	0,0054	3,8
6	0,021	0,0048	ND <sup>1)</sup>	9,8	0,82	ND <sup>1)</sup>	ND 1)	0,0027	6,2
7	0,026	0,0056	ND <sup>1)</sup>	9,8	0,89	ND 1)	ND 1)	0,0027	6,1
8	0,071	0,0117	0,071	9,3	1,14	0,0043	0,0043	0,0054	4,2

1) ND 0,0005gL<sup>-1</sup>

2) ND 0,001 gL<sup>-1</sup>

TABLA 4. Eficiencia de eliminación de los contaminantes, %

Prueba No.	A.L.	H <sub>2</sub> S	Al	Fe	Cr	Mn	Ni	Co
1	100,0	89,6	100,0	99,4	100,0	22,5	19,6	9,0
2	100,0	89,6	97,3	1)	33,3	0,7	2)	2)
3	100,0	89,6	100,0	97,7	100,0	20,5	3,9	7,0
4	100,0	89,6	99,4	89,2	99,6	7,3	2)	2)
5	100,0	89,6	97,5	55,9	84,8	2,0	2)	2)
6	100,0	94,8	100,0	100,0	100,0	45,7	58,8	52,0
7	100,0	94,8	100,0	100,0	100,0	41,1	49,0	44,0
8	100,0	89,6	99,1	81,8	99,3	4,6	2)	2)

1) Ocurrió la disolución de parte del Fe de la serpentina

2) Ocurrió la disolución de parte del Ni y Co de la serpentina

TABLA 5. Composición de la cola de serpentina

	Ni	Co	Fe	Mg	Mn	Al	Cr	St
Conte nido %	1,16	0,029	8,4	9,0	0,40	5,4	0,73	3,0

Las dosis de 20 g/t disminuyen el área unitaria a menos de la mitad requerida sin la adición de floculantes y se obtiene además una concentración de sólidos en la pulpa final, adecuada para su posterior procesamiento.

En general la utilización del mineral de serpentina como agente neutralizante del licor WL resultó altamente satisfactorio. El papel de agente neutralizante corresponde al óxido de magnesio activo formado al descomponerse la serpentina durante su calcinación. Esto se comprobó usando el mineral de serpentina sin calcinar en una relación Σ ácido/MgO = 0,370 (equivalente a 283 g de serpentina seca/L de licor WL) durante 120 min obteniéndose un pH final de sólo 2.

#### CONCLUSIONES

En las experiencias a escala de laboratorio se alcanzó la eliminación satisfactoria del ácido sulfúrico (pH = 5,4), el ácido sulfhídrico (0,006 g/L), el aluminio (0,001 g/L), el cromo (0,0005 g/L) y el hierro (0,012 g/L) presentes en el licor WL con la adición de mineral de serpentina en las siguientes condiciones:

- Relación Σ Acido/MgO = 1,050 (equivalente a 100 g de serpentina cruda seca/L de licor WL)

La separación de las fases después de la neutralización se favorece con el uso de floculantes, obteniéndose una cola de serpentina en forma de pulpa espesada a una densidad que facilita su posterior aprovechamiento directo en el proceso de lixiviación ácida del mineral limonítico.

A través de los resultados experimentales se comprobó que es posible garantizar niveles permisibles en el licor de desecho para el ácido sulfúrico, sulfhídrico, hierro, aluminio y cromo.

No obstante, el contenido de los restantes metales disueltos es superior al permitido en las fuentes naturales, por lo que se requieren soluciones de ingeniería para disminuir su concentración hasta dicho nivel durante el vertimiento.

Otra alternativa a dicha dificultad puede ser una etapa adicional de tratamiento del licor de desecho, por ejemplo, con cal, para incrementar el pH de 5,5 a 8,0 y lograr la precipitación del Ni, Co y Mn.

Ambas posibilidades deben ser consideradas en el análisis final de la tecnología.

- Temperatura de calcinación de la serpentina 690 °C
- Tiempo de neutralización 30 min
- La concentración de los demás metales disueltos en el licor WL (p/e Ni, Co, Mn, etc.), no varía con la adición de serpentina en las condiciones antes señaladas, mientras que el contenido de magnesio se incrementa de 9-10 g/L como consecuencia de la neutralización con el MgO.



Con la adición de floculantes en cantidad de 20 g/t de cola de serpentina se facilita la sedimentación y se alcanza un área de  $1,46 \text{ m}^2/\text{t} \cdot \text{d}$  que equivale a la mitad de lo requerido sin el uso del mismo.

Con excepción del magnesio, el resto de los componentes del mineral de serpentina, quedan en la cola después de la neutralización del licor WL.

La relación de masas entre la cola de serpentina y la serpentina cruda seca es de 1,05.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de Jaime Cheni Camps y Elisa Oropesa Suárez.

### REFERENCIAS

1. CATASUS, J. M. *et al.*: Método de descontaminación de soluciones que contienen ácido sulfhídrico y ácidos minerales. Certificado de Invención No. 20703, Cuba.
2. GRANDA, I. O.: "Hidrometalurgické ziskovanie cistehe MgO za serpentiňtevyh rud a inych hercikonosnych surovin za panzitia kyslicnika uhlicitehe". Tesis para el grado de Candidato en Ciencias. Escuela Superior Técnica de Kosice, Checoslovaquia, 1979.
3. GRANDA, I. O. *et al.*: "Procedimiento para la descontaminación de efluentes ácidos". Certificado de Patente, No. 21667, Cuba, 1986.
4. LARSEN, H. P. *et al.*: "Chemical treatment of metalbearing mine drainage", in *Journal WPCF*, Vol. 45, No. 8. 1973.
5. LUND, H. F.: *Industrial Pollution Control Hand-Book*, New York, Mc Graw-Hill, 1971.
6. SOBOL, S. I. *et al.*: Método para el tratamiento de los minerales ferruginosos de níquel y cobalto. Certificado de Patente de Invención, No. 20877, Cuba.

## CUBANIQUEL

Empresa Cubana Exportadora de Minerales y Metales

CUBANIQUEL  
Cuban Mineral and Metal  
Exporting Enterprise

El aprovisionamiento de níquel se realiza desde los puertos cubanos y por los barcos cubanos que llevan el níquel desde Cuba hacia el mundo a solicitud de los clientes de CUBANIQUEL y de las agencias comerciales en el exterior.

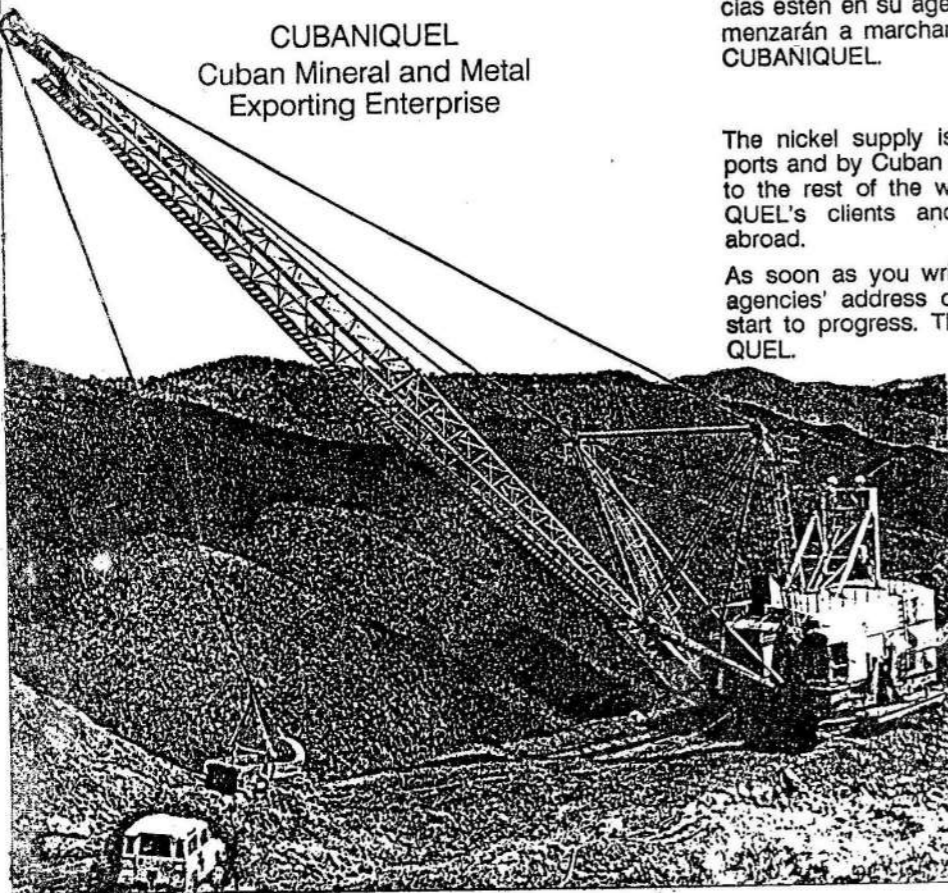
Cuando las señas de CUBANIQUEL y de sus agencias estén en su agenda de trabajo sus negocios comenzarán a marchar bien. Estos son los deseos de CUBANIQUEL.

¡Le esperamos!

The nickel supply is accomplished from the Cuban ports and by Cuban ships that carry nickel from Cuba to the rest of the world, at the request of CUBANIQUEL's clients and of the commercial agencies abroad.

As soon as you write down CUBANIQUEL's and its agencies' address on your diary, your business will start to progress. These are the wishes of CUBANIQUEL.

We hope to hear from you!



## EMISIONES GASEOSAS DE LA FABRICA "CMDTE. PEDRO SOTTO ALBA" Y SU INFLUENCIA NEGATIVA SOBRE EL MEDIO (3ra PARTE)

Ing. Angel Pérez Rodríguez, Instituto Superior Técnico de Holguín;  
C.Dr. Igor Yuzhaninov, Instituto de Minas de Leningrado

**RESUMEN:** En la tercera parte del trabajo se hace un análisis de las principales medidas ingeniero-ecológicas que deben tomarse, con el objetivo de disminuir o eliminar los efectos negativos de la contaminación ambiental, producida por las emanaciones gaseosas de la fábrica "Comdte. Pedro Sotó Alba".

Especial atención se presta al estudio de los principales métodos de limpieza y purificación de gases residuales en la industria metalúrgica, así como al proceso de obtención de ácido sulfúrico, utilizando la tecnología de doble contacto con interabsorción (DC-IA), como posibles vías para solucionar el problema de la contaminación.

**ABSTRACT:** In the third part of the work an analysis is made of the principal engineering ecologic solutions that must be applied with the goal of diminishing or eliminating the negative effects of the environmental pollution caused by the gaseous emissions from "Comander Pedro Sotó Alba" factory special attention is dedicated to the study of the principal methods of cleaning and purifying of residual gases in the metallurgy industry, so as the process of obtaining sulphuric acid through the use of double-contact technology with interabsorption (DC-IA) as possible ways for the solving of the problem of pollution.

### INTRODUCCION

Las medidas de carácter científico-técnico y en especial la creación de tecnologías con desechos mínimos, poseen especial significación en la solución del problema de la contaminación ambiental. Sólo es posible crear tecnologías de nuevo tipo a través de un profundo conocimiento de las leyes que rigen el desarrollo.

La industria no sólo debe ser capaz de producir bienes de consumo con poco gasto de materia prima, energía y fuerza de trabajo, sino que debe cumplir con todas las exigencias y requerimientos tecnológicos que le permitan eliminar o transformar en nuevos productos los desechos sólidos, líquidos o gaseosos que vierten: tal es la fórmula actual que permite la protección eficaz del medio.

Enorme importancia tiene para nuestro país la aplicación y promoción de actividades concretas encaminadas a la protección del medio. Lo anterior ha quedado plasmado en el Anteproyecto de Lineamientos Económicos y Sociales para el quinquenio 1986-1990: "... promover la aplicación de tecnologías que originen sólo desechos mínimos; destinar los recursos indispensables para evitar o impedir la contaminación ambiental ...."

En su tercera parte, nuestro trabajo tiene como objetivo el estudio de los principales métodos de limpieza de gases residuales en la industria metalúrgica y el análisis del

proceso de obtención de ácido sulfúrico con desechos mínimos, utilizando la tecnología de doble contacto con interabsorción (DC-IA).

Los cálculos efectuados para la contaminación ambiental en las capas bajas de la atmósfera y los análisis de los resultados obtenidos, demuestran que es inminente la aplicación de medidas ingeniero-ecológicas, para evitar la paulatina degradación de las condiciones ambientales, en las zonas próximas a la fábrica. Entre estas medidas, que consideramos de carácter urgente, se encuentran:

- Modernización de la tecnología con automatización completa.
- Reforestación de las áreas aledañas a la industria.
- Estudio de las posibles causas tecnológicas que provocan, en cada planta, emanaciones gaseosas nocivas superiores a la norma, para su eliminación.
- Mantener los parámetros tecnológicos indicados.
- Creación de una zona de protección sanitaria durante el tiempo en que se mantenga la situación actual.
- Promover el estudio de los distintos métodos de limpieza de gases residuales, realizar su análisis y cálculos técnico-económicos para escoger el de "óptima aplicación".

### MÉTODOS DE LIMPIEZA Y PURIFICACIÓN DE GASES

Entre el gran número de combinaciones sulfurosas ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CS}_2$ , etc.) que se encuentran en las emisiones gaseosas de las fábricas metalúrgicas, el principal es el dióxido de azufre.

En dependencia de su contenido, los gases tecnológicos se han dividido, condicionalmente, en: pobres (menos de 3,5 %  $\text{SO}_2$ ) y ricos (más de 3,5 %  $\text{SO}_2$ ). La experiencia ha demostrado que los gases ricos se