

DESTRUCCIÓN DE CIANUROS EN EFLUENTES DE LA INDUSTRIA MINERA MEDIANTE EL EMPLEO DE REDUCTORES QUÍMICOS.

Ricardo Linarte Lazcano

Director General de
Catálisis Industrial, S.A. de C.V.
Sur 6 y Oriente 5; Ciudad Industrial Tizayuca
Tizayuca, Hidalgo. MÉXICO
E-mail: linarte@prodigy.net.mx

1.- INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Como una consecuencia natural de sus propiedades químicas el ión cianuro resulta ser de importancia relevante tanto para la industria como para el medio ambiente. En la Industria Minera, el empleo de cianuros reviste particular importancia debido a la capacidad del ión cianuro CN^- para formar complejos con metales de transición y con sus vecinos de la Tabla Periódica Zn, Cd y Hg. 28 elementos en diferentes estados de oxidación pueden formar 72 estructuras complejas con el ión cianuro. Tanto el Au como la Ag metálicos pueden ser recuperados mediante técnicas de lixiviación que emplean cianuros para formar complejos estables. Estas aplicaciones muestran la importancia que, en la Industria Minera, tiene el empleo de cianuros.

Por otra parte, la toxicidad de los cianuros solubles sobre las especies vivas es bien conocida. Consecuentemente, se hace relevante para la protección del medio ambiente, el tratamiento adecuado de los efluentes de la Industria Minera. Las consideraciones a este respecto permiten entender los problemas técnicos que surgen en el control ambiental del cianuro en la Industria Minera.

Rápidamente se difundió la destrucción de cianuros mediante la aplicación del proceso INCO SO_2 /AIRE introducido en 1994 después de que INCO adquirió la patente canadiense original. El proceso se mostró sensible a diversos parámetros como son: el pH, la concentración de ión cianuro, la dosificación de SO_2 , la concentración de metales en solución, la concentración de metales como el Cu y el Fe, la presencia de otros aniones como SCN^- y $S_2O_3^{2-}$, la viscosidad y la transferencia de oxígeno. Debe reconocerse en este proceso la inconveniente presencia del SO_2 , su generación o almacenamiento, su manipulación y su agresividad química frente a la salud de los trabajadores y al medio ambiente en general, particularmente en el caso de eventuales derrames o fugas del proceso. La sustitución o evolución de este proceso, para lograr la destrucción de los cianuros en la Industria Minera, fue motivo de la investigación que condujo a los resultados que se detallan a continuación.

Los efluentes que contienen cianuros provenientes de los tratamientos utilizados en la Industria Minera, generalmente son arrojados a ríos o lagos, produciendo una fuerte contaminación que tiene efectos dramáticos sobre diversas especies acuáticas y también sobre el ganado que eventualmente sacia su sed en esas aguas.

En el caso de lagos el efecto es más devastador ya que existe un proceso de acumulación, que sólo después de mucho tiempo alcanza su equilibrio. Al medio ambiente el cianuro se hidroliza produciendo formiato de amonio:



Por lo que puede esperarse la formación de amonio durante la cianuración, debido a los niveles de pH utilizados: 10.5; sin embargo la presencia de amoníaco en los desechos que contienen cianuro puede ser debida a la hidrólisis del cianato:

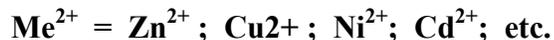
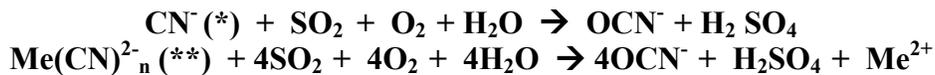


Aunque esta reacción no se vea favorecida a pH alto.

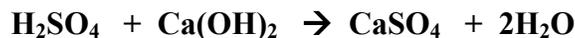
Los efluentes de la Industria Minera contienen dos tipos de cianuros: cianuros libres CN^- y cianuros metálicos acomplejados debilmente CN^-_{WAD} que son disociables por ácidos débiles. De tal manera que el total de los cianuros se notará: CN^-_{TOT} .

Las reacciones fundamentales que están involucradas en el **Proceso INCO SO_2/Aire** para la Destrucción de Cianuros y sus etapas de oxidación, neutralización y precipitación, quedan descritas en el siguiente esquema reaccional:

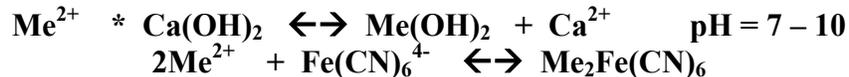
Oxidación:



Neutralización:



Precipitación:

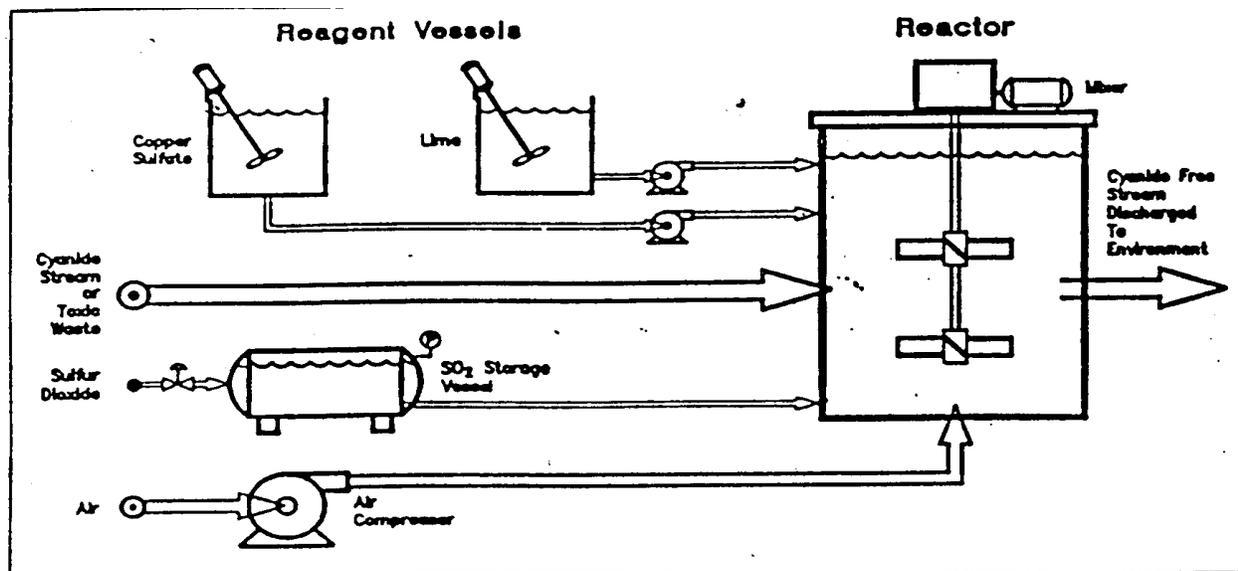


(*) libre; (**) $n = 3 \text{ ó } 4$

Estas reacciones son catalizadas por cobre en solución. $\text{SO}_2/\text{CN}_{\text{wad}} = 2.46$
WAD = weak acid dissociable.

El control del Proceso INCO requiere el conocimiento de la concentración de cianuros y metales en **la carga** y en el **efluente** así como los parametros de control del reactor: pH, cianuros libres, demanda de oxígeno, etc.

Fig. 1 .- INCO SO₂/AIR Process schematic flowsheet



La Figura 1 muestra el esquema original del Proceso INCO, según G.H. Robins CIM Bulletin.- Septiembre de 1996. El esquema se explica por sí mismo.

CYTED. TECNOLOGÍAS APLICABLES

Las reacciones de oxidación de los cianuros libres o complejados en el Proceso INCO se realizan con oxígeno en presencia de SO₂. El poder reductor de este producto puede ser sustituido por otros reductores químicos que contienen SO₂ como predecesor en su proceso de fabricación y que, sin embargo, pueden sustituir al bióxido de azufre en las reacciones de destrucción de cianuros, eliminando los riesgos tanto físicos como ambientales que implica el uso directo del SO₂.

Los reductores químicos derivados del SO₂ que son activos en la destrucción de cianuros se enlistan a continuación:

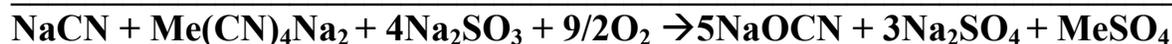
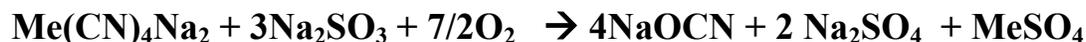
- **Bisulfito de Amonio**
- **Bisulfito de Sodio**
- **Metabisulfito de Sodio**
- **Sulfito de Sodio**
- **Tiosulfato de Amonio**

La destrucción de cianuros (libres o acomplejados) obtenida mediante el empleo de reductores químicos, se describe mediante esquemas reaccionales:

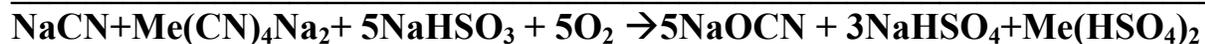
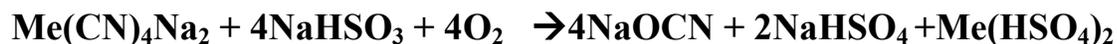
DESTRUCCIÓN DE CIANUROS CON BISULFITO DE AMONIO



DESTRUCCIÓN DE CIANUROS CON SULFITO DE SODIO



DESTRUCCIÓN DE CIANUROS CON BISULFITO DE SODIO



DESTRUCCIÓN DE CIANUROS CON

METABISULFITO DE SODIO



DESTRUCCIÓN DE CIANUROS CON

TIOSULFATO DE AMONIO



De manera similar a como se hace la destrucción de cianuros según el Proceso INCO, al mineral colocado en los patios se le aplica una solución de baja concentración de cianuro de sodio a través de una red de tuberías y aspersores colocados en la parte superior. La solución se percuela al través de los intersticios del mineral, disolviendo las partículas microscópicas de oro y plata que llegue a contactar. Esta solución rica en valores desciende hasta el fondo del montón, donde es captada por la red de tubería y conducida a las piletas de recuperación. También en el caso de uso de reductores químicos, se emplea Cu^{2+} como catalizador y es suministrado como $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (25 mg/L Cu)

El consumo de materiales depende de la cantidad de SO_2 que contenido en el Reductor Químico empleado; el valor constante 2.46 g SO_2/g de CN^- , es una consecuencia estequiométrica según puede observarse en la **Tabla 1**, la estequiometría considera la eliminación total de los cianuros.

Tabla 1.- Consumo de materiales y costo de reductores

Fórmula del reductor	SO₂/Mol de reductor (g)	Gramos de Reductor/gr CN⁻	SO₂/CN⁻_T	Costo del Reductor * \$ U.S./kg CN⁻	\$U.S.Costo/kg de SO₂ *
NH ₄ HSO ₃	64	3.81	2.46	1.63	0.66
Na ₂ SO ₃	64	4.85	2.46	2.69	1.09
NaHSO ₃	64	4.00	2.46	1.94	0.79
Na ₂ S ₂ O ₅	128	3.65	2.46	2.03	0.82
(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	64	5.69	2.46	1.84	0.75

* Costos actualizados a junio de 2001.

Los costos de operación dependen en cada caso particularmente de la carga de cianuros alimentada. Normalmente es menor que \$ 0.10/ton de mineral expresado en dólares americanos, para casos en que la concentración de cianuros totales no rebasan 225 ppm. Estos costos pueden aún ser disminuidos si los reductores son fabricados *in situ*. Las tecnologías correspondientes , también están a disposición de **CYTED**.