

«PLANTA PILOTO DE PROCESOS SECUENCIALES EN LA REMEDIACION DE EFLUENTES INDUSTRIALES » - Parte I

Ing. Daniel F. Lovera Davila *, Ing. Italo Vásquez *, Ing. Luis Puente *, Ing. Janet Quiñónez** & Ing. Vladimir Arias*

RESUMEN

En los últimos años se están desarrollando tecnologías para el tratamiento de drenajes ácidos (AMD), drenaje de rocas (ARD) y otros efluentes que están causando contaminación ambiental, tanto de aguas como de suelos. Las normativas medioambientales internacionales en la actualidad son bastante exigentes, dado que la prioridad actual es la preservación del medio ambiente. Actualmente se ha venido desarrollando la terminología **SBR SECUENTIAL BATCH REACTOR** que describe un grupo de sistemas de volumen variable para el tratamiento de lodos activados, donde los procesos de sedimentación, aireación y clarificación se realizan en un mismo reactor. En el SBR suceden en forma secuencial en tiempo diferentes procesos de equalización, aireación y clarificación. Esto sumado a la tecnología de biomasa permite el tratamiento de un gran espectro de compuestos metálicos y orgánicos. **SBR** se aplica exitosamente en USA y CANADA en cientos de plantas industriales. En ese contexto construimos la planta piloto de tratamientos efluentes, que incorpora la tecnologías modernas para la remediación de efluentes de plantas metalúrgicas, para ello tuvimos que recurrir a las técnicas del diseño de plantas, y al empleo de software de diseño de equipos y prototipos; así como también a las consideraciones medioambientales de las tecnologías limpias. **Palabra Clave:** Tecnología Limpia, Remediación, Medio Ambiente, Diseño.

ABSTRACT

In the last years technologies are developing for the treatment of sour drainages (AMD), drainage of rocks (ARD) and other efluentes that are causing environmental contamination, so much of waters as of floors. The normative ones environmental international at the present time they are quite demanding, since the current priority is the preservation of the environment.

At the moment it has been come developing the terminology SBR SECUENTIAL BATCH REACTOR that describes a group of systems of variable volume for the treatment of activated muds, where the sedimentation processes, aireación and clarification are carried out in oneself reactor.

In the SBR they happen in sequential form in time different equalización processes, aireación and clarification. This added to the technology of biomass allows the treatment of a great spectrum of compound metallic and organic. SBR is applied successfully in it USES and NARROW CANYON in hundred of industrial plants. In that context we build the plant pilot of treatments efluentes that incorporates the modern technologies for the remediación of efluentes of plants metalúrgicas, for we had to appeal it to the techniques of the design of plants, in the which we had to appeal to softwares of design of teams and prototypes; as well as to the environ mental considerations of clean technologies.

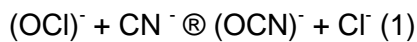
Key Words: Clean technology, Remediation, Environment, Design.

INTRODUCCIÓN

La planta piloto de tratamiento de efluentes ha sido diseñada para cumplir como primera prioridad la eliminación del cianuro y remover metales pesados de la solución a niveles permisibles de acuerdo a las normas medioambientales, pero también puede ser empleada para otros tipos de efluentes metalúrgicos.

Para pasar el cianuro a cianógeno se emplea el hipoclorito de sodio y los metales son precipitados como sulfuros usando hidrosulfuro de sodio (NaSH) como agente precipitante.

Las reacciones químicas involucradas para convertir el cianuro a cianato no tóxico son las siguientes:



A nivel nacional se están aplicando varios procesos de remediación con marcado acierto, en este artículo mostramos el ESBR, el cual consideramos de gran importancia en el tratamiento de los efluentes de las empresas minero-metalúrgicos y de mitigar la contaminación de las aguas y de los suelos, que son los problemas principales de la minería peruana.

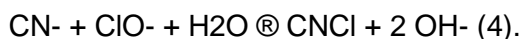
En ese sentido destacamos el empleo de tierras adsorbentes nacionales para el tratamiento de efluentes, las referencias nos indican que presentan buenas propiedades adsorbentes y además se dispone en forma abundante como recurso no metálico, por esa razón la estamos empleando en las pruebas experimentales.

A) PROCESOS DE DESTRUCCIÓN DE EFLUENTES CIANURADOS

Para la destrucción de cianuro hay una gama de procesos que mostramos a continuación, en forma resumida sus reacciones químicas principales:

A.1 CLORINACION ALCALINA

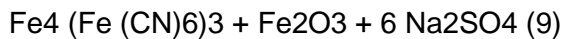
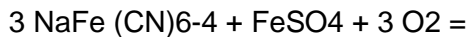
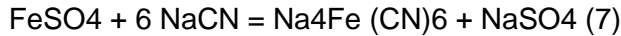
Se emplea como reactivo el hipoclorito de calcio y/o hipoclorito de sodio, en la destrucción de cianuro las reacciones del proceso se muestran a continuación:



A.2 ácido Sulfúrico y Sulfato Ferroso

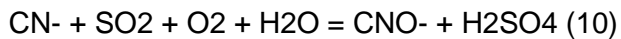
a) Etapa de Leve Acidificación con Ácido Sulfúrico: Consiste en bajar el pH a un nivel de 9.5 – 10.5.

b) Etapa de Sulfato Ferroso: En esta etapa se efectúa la destrucción de cianuro mediante las siguientes reacciones:



A.3 Proceso INCO

El proceso consiste en agregar anhídrido sulfuroso y aire como oxidante y cobre como catalizador. La reacción Global del proceso es:

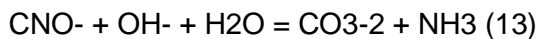
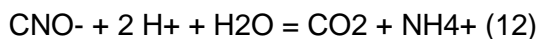


Las ventajas que este proceso tiene se muestran a continuación:

- Remoción de ambos, cianuro libre y acomplexado.
- Cinética muy rápida a temperatura ambiente.
- Bajo consumo de reactivo.
- Bajo costo de reactivo.

A.4 OXIDACIÓN CON PEROXIDO DE HIDRÓGENO

En este proceso las reacciones que nos permiten destruir el cianuro son:



El peróxido de hidrógeno oxida al cianuro libre, complejos de cianuro débilmente ligados, como el de zinc, cadmio y cobre.

El aurocianuro y el ferrocianuro no son oxidados, el ferrocianuro es precipitado en presencia de iones cobre.

A.5 oxidación con ácido caro

La reacción principal del proceso es la que se muestra a continuación:



El ácido Caro posee una alta velocidad de oxidación, no requiere el uso de catalizadores, es eficiente en soluciones claras y pulpas. Para una buena operatividad se necesita un pH de 9.5.

B) TIERRAS ADSORBENTES

En algunas plantas de tratamientos de efluentes se están introduciendo el uso de tierras adsorbentes, en ese sentido mostramos algunas propiedades que son de interés industrial.

El estudio de tierras adsorbentes involucra todos los materiales que presentan la capacidad de adsorción, relación puramente física entre los materiales, entre los cuales tenemos los materiales arcillosos que se caracterizan por su gran intensidad de atracción, o por su propiedad de formar compuestos escasamente solubles con el adsorbente. Entre los materiales adsorbentes se ha considerado a las arcillas (bentonita) y a las diatomitas.

Las Arcillas

Las arcillas son partículas finas, de dimensiones menores de 0,002 mm ó 2 micras, provenientes de la alteración física y química de las rocas y minerales. Casi todas las arcillas son silicatos aluminicos complejos hidratados, contienen potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, etc. El valor de las arcillas depende de las propiedades físicas y químicas, de su composición, etc. Las propiedades más importantes son la plasticidad, cohesión, resistencia a la tensión, poder de secado, de aglutinación, etc. Las arcillas son plásticas cuando son mojadas, retienen su forma cuando se secan.

El uso de la arcilla es múltiple. Las arcillas extractoras más usadas con facultades adsorbentes son las del grupo de la motmorillonita.

LAS BENTONITAS

El gran poder de absorción de las bentonitas se aprovecha para limpieza de líquidos. La bentonita sódica absorbe grandes cantidades de agua y se hincha más que la cálcica. La bentonita sódica tiene buena plasticidad y lubricidad, fuerza de condensación, impermeabilidad, baja compresibilidad y consolidación, fuerza de secado.

Distribución de las Bentonitas en el Perú

Están distribuidas a lo largo de la Costa y de la Franja Interandina. La bentonita se formó al parecer, por la desvitrificación de las tobas volcánicas cenozoicas. En el Eoceno por encima de la Cordillera de la Costa y llanuras adyacentes de los departamentos de Tumbes, Piura (Fm. Chira) e Ica (Fm. Paracas). Depósitos menores en Lima y Arequipa.

En la Franja Interandina, Cajamarca, Ancash, Junín, Ayacucho y Puno existen también depósitos de bentonita

Las Diatomitas

Diatomita es una roca formada en su mayor parte por caparazones de plantas unicelulares llamadas diatomeas con dimensiones microscópicas por lo cual se percola el agua.

Es extremadamente porosa, mala conductora de calor y electricidad, químicamente inerte, cuando seca es muy liviana, capaz de absorber y retener gran cantidad de líquidos con los cuales tiene grandes superficies de contacto.

Las propiedades apreciadas en las diatomitas son el bajo peso específico y alto contenido de sílice amorfa. Las diatomitas se utilizan para filtros.

Distribución de las Diatomitas en el Perú

El Perú es un país muy rico en diatomitas. La abundancia está, al parecer, vinculada con la intensa actividad hidrotermal durante el Terciario y principios del Cuaternario. Las diatomitas se encuentran en Ica, Pisco, Piura y Tumbes (Eoceno tardío). Las diatomeas depositadas en la Sierra son lacustres mio-pliocénicos y generalmente más puras que en la Costa. En Cajamarca, Ancash, Junín, Ayacucho, Cuzco, Arequipa, etc.

C) ESQUEMAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTOS DE EFLUENTES

En forma condensada mostramos los pasos principales de la planta de tratamiento de efluentes convencionales:

1) PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS

A) Neutralización con Cal.

* Tanque mezclador.

* Poza de decantación.

B) Con Lodos de Alta Densidad.

* Tanque mezclador (Lodo – Cal).

* Clarificación (Floculante -Depresores).

* Recirculación de Lodos

2) PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CON CIANURO

Solución Barren

Destrucción de Cianuro

Precipitación de Metales Pesados

Separación Sólido – Líquido (Clarificador)

Neutralización

Bombeo de Agua Tratada

3) REACTOR BATCH SECUENCIAL DE EFLUENTES (ESBR)

Oxidación del Cianuro

Neutralización

Precipitación de Metales

Clarificación (Floculantes)

Separación Sólido - Líquido

Este último tipo de esquema es el que emplearemos en la remediación de efluentes cianurados con contenidos de elementos pesados.

D) DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

Habiendo logrado construir la planta piloto de tratamiento de efluentes que el proyecto tenía como objetivo, con esta instalación se podrá realizar diversas investigaciones de la amplia gama de efluentes industriales que necesitan ser estudiados para mitigar los contaminantes que se generan en las plantas industriales.

Las fases que el proyecto contempla son el diseño de planta y la operación y funcionamiento de planta piloto. En la fase del diseño se empleó los software, tales como el AutoCAD 2000 **ver figura 1**, Mechanical Desktop y 3D Studio MAX, diseñándose el plano de planta para mostrarse en forma espacial en 3D **ver figura 2**.

La planta piloto cuenta con tanques de acrílico para el manejo de los efluentes, bombas dosificadoras de los reactivos químicos a emplear, un sistema de agitación simultáneo para todos los tanques, un tablero de control para manipular los agitadores y dosificadores.

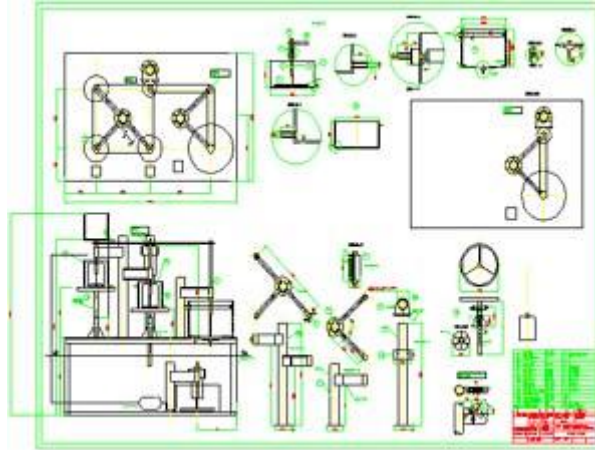


Figura 1. Diseño de Planta en Autocad 2000

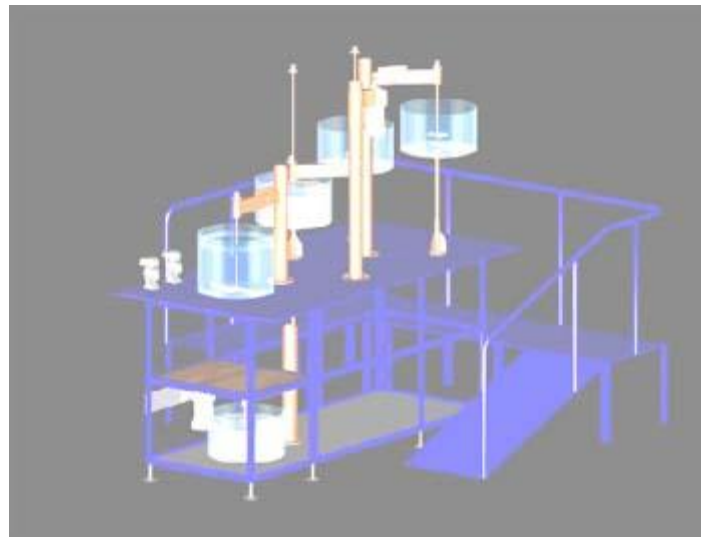


Figura 2. Planta piloto de remediación de efluentes en 3D.

La planta requiere de un automatizado posterior para que sea controlado por computadora todos los flujos tanto de alimentación y de descarga, el control en línea del PH y la conductividad eléctrica, para que de ese modo se pueda monitorear los parámetros básicos.

La fase de operación está en proceso de ejecución para lograr la data experimental de la remediación de los efluentes y su posterior modelación y simulación.

E) CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA PILOTO

La construcción de la planta se realizó sobre la base de la tecnología disponible, optimizando el uso de los materiales diversos que se procesaron mediante la ingeniería y la técnica en estructuras livianas y versátiles completamente desarmables.

Esto nos proporcionó una idea de la gran posibilidad de transformar para construir y tenemos muchos materiales que podemos usar: Tubos, perfiles, acrílico, mangueras, válvulas, pernos, motores, piñones y mucho ingenio se transformaron en piezas de la planta piloto para tratamiento de efluentes.

La planta piloto es funcional, se puede desarmar y montar fácilmente en cualquier mina. La parte motriz de la planta es monitoreada por un tablero de control que individualmente acciona:

1. Motor principal (agita tanques: clorinación, precipitación, acondicionamiento y reactor).
2. Motor secundario (tanque de lodos).
3. Dosificador A (para reactivos).
4. Dosificador B (para reactivos).
5. Dosificador C (para reactivos).
6. Compresora (inyecta oxígeno).
7. Fluorescente.
8. Campo eléctrico.

El motor principal que acciona los tres tanques y el reactor SBR es de una potencia de 0.25 HP, la locomoción es comunicada a través de una sistema a una revolución de 40 a 120 rpm.

Se agrega el efluente problema en el tanque de alimentación, en el siguiente que esta agitado se le dosifica el hipoclorito de sodio, en el tercero se le agrega el NaSH y para finalmente sedimentar los sólidos en el espesador de acrílico, el rebose se chequea que este en el mínimo permisible para enviarlo a medio ambiente, en caso contrario son reenviados al tanque de alimentación para su retratamiento, hasta lograr el permisible medioambiental en cuanto a cianuro y a elementos pesados.

CONCLUSIONES

1. Aplicando técnicas apropiadas de diseño y así mismo empleando herramientas computacionales como Autocad 2000, Mechanical Desktop y 3D studio MAX nos permitieron construir la Planta Piloto de Tratamientos de Efluentes y su simulación en el espacio.
2. Se podrán desarrollar una gama de investigaciones de efluentes contaminantes con dicha planta, pero se deberá adecuar a cada caso específico.
3. Para poder mitigar el cianuro hay distintas técnicas que pueden ser empleadas, siendo para el presente proyecto la utilización del hipoclorito y de las tierras adsorbentes.
4. Pruebas exploratorias nos indican la factibilidad de la destrucción del cianuro con el hipoclorito y de los elementos pesados con sulfhidrato de sodio.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Superior de Investigaciones de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por el apoyo financiero al proyecto N° 01601021, a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y a los miembros del equipo de Investigación.

BIBLIOGRAFIA

1. ZAROR C. **«CRITERIO PARA EL DISEÑO DE TECNOLOGIAS LIMPIAS EN LA INDUSTRIA DEL COBRE»**. CONCEPCION, CHILE.
2. BASCA S. **"TREATMENT OF ACID MINE DRAINAGE, ACID ROCK DRAINAGE & ADITION INDUSTRIES EFLUENT BY THE HIGH DENSITY STUDGE PROCESS"**. INTERNATIONAL MINING ENVIRONMENT CONGRESSES. LIMA 1999
3. TREMBLAY G. **"A MODEL TECHNOLOGY DEVELOPMENT-THE CANADYAN MINE ENVIRONMENT NEUTRAL DRAINAGE (MEND) PROGRAMM CANADYAN"** 1999
4. ARCE P. **"MODELAMIENTO DE LA SEDIMENTACION CON CAMPOS ELÉCTRICOS"**. UNIVERSIDAD FLORIDA STATE. 1999".
5. BAPA CONSULTORES **«REACTOR BATCH EN SECUENCIA (SBR)»** LAS CONDES SANTIAGO DE CHILE 1999
6. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS **«PROTOCOLO DE AGUAS Y EFLUENTES»** 1997.
7. LOVERA D. **«MODELACION Y SIMULACION DEL PROCESO DINAMICO Y CINEMATICO DE SEDIMENTACION»** UNMSM - 1999
8. QUIÑÓNES J. **" INFORME TECNICO DE LAS TIERRAS ADSORBENTES "** UNSMM – 2000
9. SÁNCHEZ M. **"TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN LA INDUSTRIA DEL COBRE"**, UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN –CHILE

10. VASQUEZ I. **"INFORME TÉCNICO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE EFLUENTES"**, UNMSM – 2000

* E.A.P de Ingeniería Metalúrgica - UNMSM Telefax: (051-4521521)
** E.A.P de Ingeniería Geológica - UNMSM Telefax: (051-4649390)
e-mail:iigeo@unmsm.edu.pe