

January 1980

## Control de la Contaminación de Aguas en la Industria Minera

G. Sarmiento

*Universidad de La Salle*, revista\_uls@lasalle.edu.co

F. Lawson

revista\_uls@lasalle.edu.co

P.H.T. Uhlherr

revista\_uls@lasalle.edu.co

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ruls>

---

### Citación recomendada

Sarmiento, G., F.Lawson, y P.Uhlherr (1980). Control de la Contaminación de Aguas en la Industria Minera. Revista de la Universidad de La Salle, (6), 43-48.

This Artículo de Revista is brought to you for free and open access by the Revistas de divulgación at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Revista de la Universidad de La Salle by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

# Control de la Contaminación de Aguas en la Industria Minera

*G. Sarmiento, F. Lawson\*, P.H.T. Uhlherr\*  
Universidad de La Salle Facultad de Ciencias  
Agropecuarias, Bogotá-Colombia.*

## INTRODUCCION

La industria minera se ha expandido grandemente en los últimos años. Este incremento en la explotación de nuestros recursos naturales ha producido un desmejoramiento en la calidad de las aguas en áreas vecinas a las minas y a las plantas beneficiadoras. En los países industrializados, la mayoría de las compañías mineras han aceptado sus responsabilidades y han tomado medidas para asegurar que el ambiente no sea dañado innecesariamente. En los países en desarrollo por el contrario, muchas compañías permanecen impasibles ante los problemas de contaminación causados por ellas mismas, protegidas en algunos casos por la falta de precisión o aplicabilidad de la legislación ambiental en cuestión, y en otros por la total indiferencia (o impotencia) de los gobiernos ante estos problemas. En todo caso es importante el estar conscientes de la necesidad de proteger la naturaleza, antes de que el mal creciente de la contaminación alcance tales proporciones que los daños causados sean irreversibles o que los costos de tratamiento sean prácticamente imposibles de financiar.

Los procesos de minería y de concentración de minerales pueden afectar el ambiente por medio de la descarga de desechos líquidos y sólidos. La mayor parte de la contaminación de aguas causada por esta industria proviene de la descarga de estos desechos en ríos y demás cursos de agua. Otro problema serio es causado por lixiviación de la escoria, por las tierras de relleno y lagunas de sedimentación. Los ejemplos de contaminación de aguas por la industria minera son numerosos, algunos de ellos posiblemente accidentales mientras que la mayoría trata sobre contaminación causada concientemente. Si las industrias mineras están interesadas en preservar el ambiente, las debidas precauciones han de ser tomadas para no descargar en los cursos de aguas productos en tales concentraciones que puedan causar daño de un modo u otro.

“La Sociedad debe estar preparada a pagar por el control para prevenir la descarga de afluentes no tratados. Este punto no es apreciado todavía” (1). Ya que la mayoría de los procesos de control de la contaminación no son llevados a cabo con una ganancia económica, deben ser conducidos con un mínimo de costo. Esto implica investigación en nuevos procesos para recuperar materiales valiosos y disminuir la polución al mismo tiempo.

\* Monash University, Clayton 3168, Australia Department of Chemical Engineering

## CONTAMINACION DE AGUAS

Los contaminantes de aguas que provienen de minas y plantas beneficiadoras pueden ser de tres tipos:

- a. Materiales biológicamente inertes. Incluyen desechos de la beneficiación del mineral, agua ácida de la mina y algunas sustancias químicas. Incluye este grupo la contaminación de aguas, causada por la erosión que se presenta en los lugares de explotación.
- b. Materiales tóxicos como los iones de cobre, zinc, cromo y cianuro.
- c. Sustancias químicas sintéticas usadas principalmente en el proceso de beneficiación.

Los materiales biológicamente inertes pueden causar obstrucción de los cursos de agua y son potencialmente peligrosos para la fauna acuática. Impiden la penetración solar limitando así el desarrollo de las algas y del fitoplancton, lo que reduce el número de peces capaz de ser mantenido en el curso de agua o lago. Estos residuos también envuelven larvas y huevos de peces y pueden obstruir las branquias de éstos causándoles la muerte; además, limitan el desarrollo de los peces ictiófagos y otros que capturan su alimento utilizando su visión.

Los desechos tóxicos dañan no solamente el ambiente acuático sino que también pueden afectar a los animales terrestres. Este último caso se ha presentado en regiones de baja precipitación y de alta evaporación, lo cual produce un aumento en la concentración de tóxicos en el agua con el subsecuente envenenamiento de los animales terrestres que la beben. El ter-

cer grupo, de Contaminantes químicos sintéticos, crea problemas de sabor y olor en las aguas. Se sospecha que estos contaminantes puedan tener propiedades cancerígenas y que posiblemente interfieren en las cadenas de alimentos.

### Agua en las Minas.-

Los principales minerales se explotan tanto a cielo abierto como por el método subterráneo o socavón. La bauxita, a partir de la cual se obtiene el aluminio se encuentra a poca profundidad y es generalmente explotada a cielo abierto. Los minerales de plomo, zinc y cobre se explotan principalmente en minas subterráneas, mientras que el uranio y el carbón, de considerable auge en el presente pueden ser extraídos por ambos métodos. En ambos tipos de excavación, grandes cantidades de agua son contaminadas, en su mayoría aguas lluvia y aguas superficiales que se han filtrado. Cuando desechos minerales son usados como relleno, agua contaminada, utilizada en el proceso de beneficiación también viene con ellos.

Alguna del agua de la mina es agua "normal" pero cuando ésta se filtra a través de roca pirítica se vuelve bastante ácida y puede contener cantidades apreciables de iones de hierro, manganeso, calcio y magnesio. Oxidación ocurre siempre que minerales que contienen azufre se mezclan con aire húmedo. La pirita, marcasita y pirotita, todos sulfatos de hierro se oxidan rápidamente. El drenaje de estas aguas entra en los ríos y lagos con los desastrosos efectos mencionados anteriormente (2). Uno de los muchos problemas en áreas en las cuales hubo una actividad minera intensa en el pasado, tiene que ver con minas abando-

nadas y con tierras de relleno (3) (4). Aún cuando la explotación no es practicada actualmente, la oxidación de los minerales ricos en azufre continúa y el drenaje de la mina puede ser bastante ácido como también lo puede ser el del agua que se filtra en las tierras de relleno. En muchos casos las compañías que explotaban estas minas no existen actualmente. entonces quien es el responsable de solucionar este problema?

Algún suceso se ha obtenido sellando la mina de modo tal que se permite el drenaje del agua pero no la entrada de aire. La acidez residual es neutralizada por adición de caliza o de dolomita. Algunas veces la naturaleza nos ofrece la solución; si la explotación tuvo lugar en terrenos bajos y las colinas adyacentes son ricas en caliza, la mina puede ser llenada con agua que inicialmente será ácida por la oxidación de los sulfuros. La construcción de una pequeña presa que eleve el nivel del agua, hará que ésta entre en contacto con la capa de caliza y así se obtienen resultados favorables; se sumergen totalmente, los sulfuros reduciendo la velocidad de la reacción de oxidación y además las aguas ácidas son neutralizadas por la piedra caliza.

Estos lagos artificiales pueden ser después usados para propósitos recreacionales (5) (6). Lógicamente este método no puede ser utilizado para minas en explotación en cuyo caso otro tratamiento para las aguas es necesario.

Cuando el mineral contiene calcita, dolomita o magnesita, la acción del agua que se filtra a través de él genera dióxido de carbono lo que hace que el hierro pueda presentarse como  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ . Aún pequeñas cantidades de este bicarbonato que penetren en el

sistema de aguas de un pueblo o ciudad, hacen que ésta se torne desagradable. Otros compuestos de hierro encontrados en aguas mineras son el hidróxido de hierro, el carbonato y el sulfato ferroso. Si estos compuestos son oxidados a la forma férrica, su solubilidad decrece sustancialmente aún a Phs de 4-5. Esta es la base de su método de tratamiento.

El tratamiento de aguas mineras puede entonces ser:

- Aereación y ajuste del Ph.
- Precipitación por medio de aditivos químicos.
- Precipitación por medio de  $\text{H}_2\text{S}$  biológicamente generado.

Como fue anteriormente indicado las aguas mineras pueden contener pequeñas cantidades de manganeso, hierro y de iones de metales tóxicos como el zinc y el cobre. Cuando el Ph del agua es aumentado, se presenta una reducción en la solubilidad de todos estos iones. A partir de la información dada por Pourbaix (7) se ha calculado el Ph al cual el agua debe ser llevada para reducir la concentración del metal a 0.1 mg/l . Este es como sigue:

$\text{Fe}^{++}$ ; 9.5,  $\text{Fe}^{+++}$ ; 3.5,  $\text{Mn}^{++}$ ; 11.8,  $\text{Zn}^{++}$ ; 9.0 y  $\text{Cu}^{++}$ ; 7.5.

Se puede observar que si el hierro no es oxidado al estado férrico, altos Phs son necesarios para su remoción. En la mayoría de las situaciones, la neutralización no es económica a no ser que el hierro sea el principal contaminante en cuyo caso el ajuste del Ph seguido por sedimentación es suficiente para el tratamiento de estas aguas. La recirculación del lodo es aconsejable cuando el Ph es menor que 4 (3).

Otro método de tratamiento que ha sido sugerido para renovar no sólo el hierro sino también otros iones presentes en estas aguas, es la adición de sulfuros solubles (sulfuro de sodio o sulfuro de bario). Por ejemplo si se desea la remoción del zinc, la reacción sería:



Experimentos hechos por Pugsley (4) muestran que el cobre, hierro y zinc pueden ser removidos de esta forma por la adición de sulfuros solubles en 100/o de exceso de la relación estequiométrica; el manganeso también puede ser removido por este método. El costo del sulfuro soluble puede sin embargo hacer este tratamiento poco económico.

Los iones sulfuro también se pueden producir bacteriológicamente por medio de la reducción del ión sulfato por los géneros de bacterias de sulfavibrio y Clostridium. Estas bacterias que viven y crecen en Phs de 5.5 a 9 requieren para su desarrollo además de sus nutrientes normales, hierro ferroso y iones sulfato (8). Los lactatos son una excelente fuente de energía para estas bacterias, posiblemente sea ésta una manera de usar los desechos de la industria lechera para el tratamiento de aguas. Otras fuentes de energía podrían ser melasas y aguas negras.

Si se puede producir sulfuro de hidrógeno "naturalmente" en las minas, en especial en aquéllas ya abandonadas, el problema de la contaminación de aguas causada por iones metálicos se podría resolver a un bajo costo. Ya que la bacteria que reduce el sulfuro no puede utilizar los iones férricos como receptores de hidrógeno, un pos-

terior aumento del Ph para neutralizar la acidez precipitaría el hidróxido férrico. Este método debe ser utilizado cuidadosamente ya que el sulfuro de hidrógeno en sí es tóxico. Las precauciones adecuadas han de ser tomadas para asegurar que las aguas no sean contaminadas con H<sub>2</sub>S lo que resultaría en una reducción en el oxígeno disuelto en la corriente de agua a la cual llegan las aguas mineras.

Ciertamente es mejor prevenir la formación de materiales ácidos en su origen, que removerlos una vez ellos se han formado. Se han encontrado algunas sustancias baratas, no tóxicas y resistentes a las bacterias que una vez absorbidas en la superficie del material impiden su oxidación. Hasta ahora la principal limitación de estas sustancias es el hecho de no poder ser aplicadas en materiales húmedos (9).

### **Desechos de las plantas de beneficiación**

Estos desechos pueden contener contaminantes en suspensión o en solución. En lo posible las aguas utilizadas en estos procesos deben ser recicladas ya que así se recuperan muchos materiales y se reducen los problemas de tratamiento. Es conveniente recordar que un efluente se convierte en desperdicio **únicamente** cuando **alguien** decide que no tiene un uso posterior!

Los circuitos cerrados de agua, en los cuales ésta es reciclada después de tratamiento, aunque implican costos inicialmente altos hacen que un control más eficiente sobre el proceso sea logrado, y frecuentemente producen una economía en los costos de operación de la planta; Puede haber por ejemplo un tiempo mayor de operación entre paradas, cuando el agua tratada

es utilizada. En cuanto a los sólidos se refiere, en lo posibles éstos han de ser enviados a tierras de relleno o a la mina. Allí se acumularán hasta que en un futuro otras técnicas sean aplicables para obtener metales a partir de ellos, técnicas que por ahora no son utilizadas debido a la poca cantidad de los minerales aprovechables presentes en ellos. El problema a solucionar por el momento es la separación rápida y efectiva de estos sólidos en la planta y su posterior transporte hasta las lagunas de sedimentación o a las excavaciones de la mina. El uso de floculantes sintéticos ha probado ser efectivo en la mayoría de los procesos de sedimentación (10) (11), además otras técnicas de separación como el filtrado a alta presión están siendo utilizadas con éxito. Aún el transporte de estos desechos (generalmente en forma de suspensión) no implica costos tan elevados como lo eran antes. Cuando ellos se transportaban en tuberías, la viscosidad de la suspensión puede ser reducida por medio de aditivos químicos, y en algunos casos estos aditivos ayudan a solidificar la suspensión una vez que ésta ha sido descargada (12).

## DISCUSION

El anterior ha sido un intento de resumir los actuales problemas de contaminación de aguas en la industria minera. Lógicamente en un resumen de esta longitud es imposible cubrir este vasto campo de una manera más profunda. Es bastante obvio que la actual tecnología es capaz de darnos agua limpia ahora y que es nuestra decisión el purificar o no los cursos de agua que han sido contaminados en el pasado. Siendo el tratamiento de aguas un problema técnico, la iniciativa de resolverlo debe provenir de las mismas compañías explotadoras, los costos de investi-

gación y de tratamiento mirados como parte del proceso general de producción, han de ser pasados al consumidor. Este tratamiento debe empezar ahora si no ha sido hecho, antes de que la actual tecnología se vea impotente ante este creciente problema y que sus costos aumenten desproporcionalmente.

Una visión optimista de este problema nos indica que la explotación de nuevos recursos energéticos, tales como la energía solar, permitirá a las compañías mineras el utilizar materiales actualmente desechados, beneficiar minerales más pobres y reciclar los desechos sólidos y los metales que éstos contienen; entonces cuál debe ser la política a seguir de los países en desarrollo, en los cuales la explotación de los nuevos recursos energéticos no es llevada a cabo inmediatamente debido a su falta de tecnología? Esta situación que parece ser desfavorable para ellos bien puede ser su salvación ecológicamente hablando. El hecho de que estos países pueden en teoría vivir de las experiencias de los países desarrollados, no ha sido aceptado hasta el presente. Cuántas veces las experiencias negativas de los países desarrollados han sido repetidas en los países en desarrollo cuando éstos, con criterios dudosos se contentan con equipos y métodos de explotación "baratos" que irreversiblemente conducen a la contaminación! Estos equipos y métodos fueron en su gran mayoría, diseñados sin ningún criterio ambiental. Esta mentalidad "ahorrativa" indudablemente no lo es, el costo de la contaminación causada por estas industrias es alto, cuántos valles fértiles anteriormente son ahora desérticos, cuántos equipos son corroídos y han de ser desechados, cuántas especies son día tras día amenazadas. El señalar responsables es inútil, resulta difícil probar

que una sustancia presente en baja concentración en las aguas esté dañando la salud humana, peor aún el efecto conjunto de sustancias tóxicas en la vida tanto animal como vegetal no ha sido determinado. Resulta además utópicas el exigir a industrias primitivas la instalación de métodos adecuados de tratamiento de aguas, ya que en muchos casos el costo de ellos sobrepasa ría el costo de los actuales equipos de

producción. La política de los países en desarrollo ha de estar pues encaminada a la obtención de tecnología moderna protectora del ambiente que haya sido probada y encontrada eficaz en los países desarrollados. Que ésto puede resultar costoso? bien que el estado o el consumidor pague por ello, vale la pena si está en juego el conservar y proteger la vida tal como la conocemos ahora.