

## DETERMINACIÓN DE OPCIONES PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

### DETERMINATION OF OPTIONS FOR WASTE TREATMENT

**Ing. Sorángel Rivas-Romero, Ing. Elvira Leyva-Navarro, Ing. Aurora Moreno-Daudinot, Ing. Rosario Fuentes-Camacho**

Centro de Investigaciones del Níquel "Capitán alberto Fernández Montes de Oca", Moa, Cuba. srivas@cil.moa.minbas.cu

---

#### RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo, identificar variantes tecnológicas para tratar o depositar adecuadamente los residuos de la refinación de los sulfuros con el fin de minimizar su impacto en el medio ambiente u obtener subproductos comercializables. Para la consecución del objetivo, se llevó a cabo una búsqueda de patentes y artículos científico técnicos relacionados con el tema, que permitió la identificación de tres variantes para el tratamiento o deposición del residuo de hierro de la refinación de los sulfuros, dos variantes para el sulfuro de cobre, dos variantes para el residuo de manganeso, así como una única alternativa para el residuo de fluoruros de calcio y magnesio. Concretándose en opciones para evaluar el tratamiento o depósito de los residuos de la refinación de los sulfuros donde se considera: mezclar los residuos de hierro, cobre y manganeso con las colas del proceso de lixiviación carbonato amoniacal de las lateritas, obtener sulfato de cobre a partir del residuo de cobre, alimentar los residuos de hierro y manganeso al proceso de lixiviación ácida de las lateritas a presión conjuntamente con el mineral y depositar los residuos de calcio y magnesio en "rellenos de seguridad".

**Palabras claves:** residuos, hierro, manganeso, cobre, calcio y magnesio.

---

#### ABSTRACT

The purpose of this paper was identifying technological alternatives in order to get treatment or deposit the sulphides refination residues for reduces the impact on

environment or obtain trade by products. To reach the objective patent and scientific article was consulted, permitting to define three variant for treatment or deposition of iron, two variants to copper and manganese residues, as unique alternative to calcium and magnesium residue. Resuming in options to evaluate the sulphides refination residues treatment or deposition where was considered: blender the iron, copper and manganese residues with tails of laterite ammonia carbonate leaching, obtain copper sulphate from copper residue, feed iron and manganese residues to laterite pressure acid leaching process joint with el mineral, and pour in "safety refill" the calcium and magnesium residues.

**Keywords:** residues, iron, manganese, copper, calcium and magnesium.

---

## INTRODUCCIÓN

Inicialmente los residuos industriales generados eran considerados como una consecuencia inevitable del desarrollo industrial, por tanto ni los aspectos riesgosos de su manipulación, ni las consecuencias de una inadecuada eliminación eran motivo de una particular preocupación. Las políticas gubernamentales no prestaban especial atención a los residuos y apenas se tomaban medidas para regular su manejo. Lo usual era desprenderse del residuo y confiar en la aparente inagotabilidad de las posibilidades de recuperación de la naturaleza.

Inicialmente no se comprendieron ni se reconocieron las consecuencias de los residuos de la era tecnológica sobre la salud humana y el ambiente. Además los métodos de tratamiento y eliminación de residuos industriales estaban en términos generales poco desarrollados. Fue necesario que transcurriera mucho tiempo para comprobar distintos efectos crónicos sobre los seres vivos y que ocurrieran accidentes ambientales para que se tomara una real y global conciencia del problema. Esto condujo a un aumento de la preocupación popular, al surgimiento de movimientos ambientales y a la promulgación de una legislación específica que estableciera que gestión deben recibir los residuos industriales peligrosos.

En la década de los 60, se comenzó a percibir una paulatina preocupación por el ambiente sobre todo en los países altamente industrializados y a menudo forzados por los desastres ambientales ocurridos.

El desarrollo sustentable habla de garantizar recursos a las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades, sin que se limite el consumo por parte de las generaciones actuales. La refinación de los sulfuros para la diversificación de las producciones de la industria del níquel y el cobalto, debe cumplir los estándares internacionales relativos a la protección del medio ambiente y lograr un esquema mucho más atractivo desde este y el punto de vista económico.

La tecnología para la refinación del sulfuro mixto de níquel y cobalto de la tecnología carbonato amoniaco, consistente en la obtención de un licor de sulfatos de Ni, Co, Fe, Cu, Mn y otros elementos como resultado de la disolución de los sulfuros; la separación de impurezas mediante precipitación hidrolítica de hierro, luego cobre, seguida por la separación cobalto-níquel-zinc mediante extracción con solventes, la separación de manganeso por precipitación hidrolítica y la separación

hidrolítica de calcio y magnesio, permite obtener sales de cobalto y níquel, pero aún no incluye el tratamiento de sus efluentes y residuos para clasificar como una tecnología limpia.

El objetivo de este trabajo consiste en identificar variantes tecnológicas para tratar o depositar adecuadamente los residuos de la refinación de los sulfuros con el fin de minimizar su impacto en el medio ambiente u obtener subproductos comercializables. Para la consecución del objetivo se llevó a cabo una búsqueda de patentes y artículos científico técnicos relacionados con el tema.

### **Composición química de los residuos sólidos de la refinación de los sulfuros del proceso Caron**

Se muestran las principales especies químicas contenidas en los residuos de hierro, cobre y manganeso en la tabla 1, así como la masa total de residuos generada anualmente.

**Tabla 1**  
Composición de los residuos que se generan durante la refinación de los sulfuros de Ni y Co del proceso Caron

|               | Cantidad base seca |              | Contenido, % |             |             |             |             |
|---------------|--------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | kg/h               | t/a          | Ni           | Co          | Fe          | Cu          | Mn          |
| Residuo de Fe | 92,3               | 731,1        | 1,0          | 0,5         | 11,2        | 8,8         | -           |
| Residuo de Cu | 2,23               | 17,7         | 0,0          | 0,0         | 0,0         | 47,3        | -           |
| Residuo de Mn | 0,4                | 3,0          | -            | 26,0        | -           | -           | 74,0        |
| <b>Total</b>  | <b>94,9</b>        | <b>751,8</b> | <b>1,0</b>   | <b>26,5</b> | <b>11,2</b> | <b>56,1</b> | <b>74,0</b> |

Para una refinería de níquel y cobalto, con una relación Ni/Co en el sulfuro 2:1, la cantidad total de residuos de hierro, cobre y manganeso asciende a 94,9 kg/h. En la etapa de separación del hierro (separación hidrolítica) se generan 92,3 kg/h, siendo equivalente al 97,25 % del total de estos tres residuos. Los elementos mayoritarios en su composición química son el hierro y el cobre con un contenido de 11,2 y 8,8 % respectivamente. Durante la separación hidrolítica del cobre se generan 2,23 kg/h de residuo. El contenido de cobre en este residuo es de 47,3 %, y en la separación hidrolítica del manganeso se generan 0,4 kg/h de residuo con un contenido de manganeso de 74 %.

Durante la refinación de los sulfuros mixtos de níquel y cobalto de la tecnología carbonato amoniacal además de los residuos sólidos principales: hierro (11,2 % Fe; 1% Ni, y 8,8 % Cu), cobre (47,3 % de Cu, otras impurezas); manganeso (74 % Mn, 26 % Co, otras impurezas), se genera un residuo de calcio y magnesio como fluoruros (14,7 % Ca, 30,89 % Mg).

Como resultado de la búsqueda y análisis de información se determinaron las variantes de tratamiento para el total de los residuos de la refinación de los sulfuros.

#### **Residuo de hierro**

Como principales alternativas a evaluar para el tratamiento o deposición del residuo de hierro de la refinación de los sulfuros se consideran las siguientes:

- El residuo de hierro pudiera ser comercializado aunque su bajo contenido de hierro puede constituir una limitante.

- Enviarlo a la planta de preparación de pulpa de la tecnología de lixiviación ácida a presión, para alimentarlo al proceso conjuntamente con el mineral.

El análisis de esta opción incluye realizar ensayos experimentales con el fin de evaluar su solubilidad en ácido sulfúrico a altas presiones, para determinar si es posible alimentarlo conjuntamente con el mineral a lixiviar, para extraerle el níquel y el cobalto (1 % de Ni y 0,5 % de Co).

- Mezclar el residuo de hierro con las colas de mineral de la tecnología de lixiviación carbonato amoniacal y enviarlos conjuntamente al depósito de colas.

### **Residuo de cobre**

Entre las opciones consideradas con mayores posibilidades de aplicar teniendo en cuenta su posible comercialización están:

- Mezclar el residuo de cobre con las colas de mineral de la tecnología de lixiviación carbonato amoniacal y enviarlos conjuntamente al depósito de colas.

- La obtención de sulfato de cobre cúprico II ( $\text{CuSO}_4$ ), siendo ésta una de las más usadas, con amplia aplicación en la agricultura [4].

Las sales de cobre se utilizan como factor sanitario. El sulfato cúprico es el más importante de todos los compuestos de cobre, se utiliza como ingrediente activo del Caldo Bordelés (mezcla de cal y sulfato cúprico en agua), que se aplica en la aspersión sobre las plantas con el fin de combatir las enfermedades producidas por los hongos.

Cantidades pequeñas de cobre no se acumulan en el cuerpo, se eliminan naturalmente y cantidades elevadas no son venenosas tienen efecto tóxico solo temporal, ya que la sustancia es vomitada inmediatamente.

### **Residuo de manganeso**

Dada la cantidad y composición química de este residuo, entre las posibles opciones a aplicar para su tratamiento o disposición, se encuentran:

- Enviarlo a la planta de preparación de pulpa de la tecnología de lixiviación ácida a presión de las lateritas, para alimentarlo al proceso conjuntamente con el mineral. La cantidad de residuo de manganeso es de 3 t/año, con un contenido de 74 % de Mn y 26 % de Co, de este modo podría recuperarse el cobalto que contiene. Es de esperar que su incorporación al proceso conjuntamente con el mineral no producirá efectos adversos debido a que la cantidad de residuo es pequeña con respecto a la cantidad de mineral que se procesa. La evaluación de esta opción requiere, al igual que para el residuo de hierro, realizar ensayos experimentales que permitan determinar su solubilidad en ácido sulfúrico a presión.

- Mezclarlo con las colas de la tecnología de lixiviación carbonato amoniacal y enviarlos conjuntamente al depósito de colas.

## Residuo de calcio y magnesio, en forma de fluoruros

Durante la precipitación del calcio y el magnesio de los licores productos de la disolución de los sulfuros con fluoruro se genera un residuo que requiere ser depositado o tratado adecuadamente. Este residuo tiene entre sus componentes principales flúor, sodio, calcio y magnesio, además de pequeñas cantidades de hierro, cobalto y níquel. Los fluoruros de calcio y magnesio son prácticamente insolubles, no siendo posible separarlos para obtener productos que puedan ser reutilizados.

La tabla 2 muestra el contenido de calcio y magnesio en el residuo que se obtiene durante la precipitación de estas impurezas con fluoruro de sodio, así como el contenido de Ni, Co y Mn. [1]

**Tabla 2**  
Cantidad y composición química del residuo de calcio y magnesio

|                    | Cantidad Base Seca |      | Contenido, % |     |       |      |      |
|--------------------|--------------------|------|--------------|-----|-------|------|------|
|                    | kg/h               | t/a  | Ni           | Co  | Mn    | Ca   | Mg   |
| Residuo de Ca y Mg | 9,2                | 72,6 | 0,9          | 1,2 | 0,045 | 19,5 | 44,3 |

Los fluoruros a partir de ciertos niveles de concentración pueden tener consecuencias negativas sobre el crecimiento, actividad o supervivencia de diferentes organismos acuáticos sensibles.

Altos niveles de fluoruros en las plantas, pueden provocar un amarillamiento de hojas y un crecimiento más lento. La contaminación del aire por fluoruros, en concentraciones de 1 mg/L causa daños a la vegetación y a la ganadería. En las aves, pruebas de laboratorio han demostrado que altas concentraciones de fluoruros pueden afectar al crecimiento de los pichones o poner en peligro su supervivencia. En los ciervos, el ganado vacuno y las ovejas, se ha observado que la ingesta de grandes cantidades de fluoruros afecta al peso, las articulaciones, los dientes, los huesos, la producción de leche y la reproducción.

Los desechos que contienen fluoruros inorgánicos están considerados por las normas internacionales [3] como desechos peligrosos, por lo que es necesario tomar medidas pertinentes para evitar la contaminación del medio ambiente, en este caso se excluye el fluoruro de calcio, aclarándose en todos los casos que aunque no se ha considerado como peligroso no puede ser vertido al medio ambiente, ya que afecta los acuíferos naturales. Se plantea además, que la mezcla entre dos o más residuos/desechos peligrosos o entre un residuo/desecho peligroso y una o más sustancias no peligrosas será considerada residuo/desecho peligroso.

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente en Cuba, define en respectivas resoluciones a los desechos que contienen fluoruros como peligrosos y existen las disposiciones legales a tener en cuenta para las empresas que lo producen.

El conocimiento acumulado en cuanto al trabajo con fluoruros dicta la ubicación de residuos sólidos en rellenos de seguridad sin impactos adversos sobre el ambiente. En estas áreas en las que se depositan los residuos de fluoruros, debe lograrse una adecuada impermeabilidad que impida que el agua de lluvia entre en contacto con los residuos y que no alcance la capa de agua subterránea. Los rellenos se construyen utilizando capas compactadas de distintos materiales (arcillas, arena,

suelo calcáreo) entre las cuales se despliega una geomembrana de un compuesto sintético que actúa como barrera al transporte vertical del contaminante.

Como medidas de control se realizan un conjunto de perforaciones rodeando el relleno las que permiten monitorear la calidad del agua subterránea, posibilitando verificar la efectividad del diseño implementado.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Valoraciones generales de las opciones de tratamiento o deposición**

Propuesta de opciones a evaluar para el tratamiento o almacenaje de los residuos sólidos de la refinación de los sulfuros de níquel y cobalto de la tecnología carbonato-amoniaco:

1. Mezclar los residuos de la refinación de los sulfuros con las colas de mineral del proceso Caron

Se excluye mezclar el residuo de calcio y magnesio con las colas de mineral, atendiendo a que este material tóxico incorporaría flúor, elemento no presente en las colas.

El desarrollo de esta opción incluye determinar las condiciones de operación más favorables (temperatura, pH, densidad de la pulpa, etcétera), las características de la instalación (diseño) y un análisis de los posibles impactos.

2. Obtener sales de cobre a partir del residuo de cobre

Analizar la posibilidad de obtener microproducciones de sulfato de cobre a partir del residuo de cobre.

3. Depositar los residuos de calcio y magnesio en rellenos de seguridad.

Determinar características de la instalación (transportación, sistema de impermeabilización), los procedimientos a seguir para obtener la aprobación de las autoridades competentes y el diseño del sistema de monitoreo alrededor al depósito o relleno de seguridad.

4. Comercializar algunos de los residuos en calidad de materia prima o subproductos para otras plantas.

Evaluar la posibilidad de alimentar al proceso tecnológico de la Empresa Pedro Sotto Alba, conjuntamente con el mineral, los residuos de hierro y manganeso, para recuperar el níquel y el cobalto contenido en los mismos.

## **CONCLUSIONES**

Se identificaron las variantes tecnológicas para tratar o depositar adecuadamente los residuos de la refinación de los sulfuros.

Entre las opciones de tratamiento de los residuos de la refinación de los sulfuros a evaluar se consideran:

- Alimentar los residuos de hierro y manganeso, al proceso de lixiviación ácida de las lateritas a presión conjuntamente con el mineral, para recuperar el níquel y el cobalto contenido en los mismos.
- Obtener sulfato de cobre a partir del residuo decobre.

Entre las opciones de deposición de los residuos de la refinación de los sulfuros se consideran:

- Mezclar los residuos de hierro, cobre y manganeso con las colas del proceso de lixiviación -Depositar los residuos de calcio y magnesio en rellenos de seguridad.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. CISNEROS D. Balance de Materiales de una Planta para la producción de 1000 t de Ni y 500 t de Co en forma de Sales. Reporte técnico. Moa. 2000.
2. LEYVA E; MORENO A. Pruebas continuas a escala de banco de precipitación de calcio y magnesio. Informe de etapa de proyecto de Investigación. 2006.
3. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Resolución No. 15/96 sobre desechos peligrosos. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Edición ordinaria. La Habana. Pág. 195. 1996.
4. TOT DISENY. Sales y Derivados de Cobre S.A (SALDECO).

Recibido: Julio de 2010

Aprobado: Diciembre de 2010

*Ing. Sorángel Rivas-Romero.* Centro de Investigaciones del Níquel "Capitán alberto Fernández Montes de Oca", Moa, Cuba. [srivas@cil.moa.minbas.cu](mailto:srivas@cil.moa.minbas.cu)