

TABLA 1.

Flujo medio (m <sup>3</sup> /h)	Níquel (g/L)	Cobalto (g/L)	Amoníaco (g/L)	pH	Temperatura
185,51	0,161	0,0014	0,523	7,89	50,8

BIBLIOGRAFIA

GRIFPIN, M.J.: *Información requerida para trabajos con radioisotopos en la industria*, ICINAZ, La Habana, 1986.  
*Guidebook on radioisotope tracers in industry*, IAEA, Viena, Austria, 1990.  
 ROCCA, H.C.: *Determinación de los flujos en galerías de la compañía siderúrgica nacional con la utilización de trazador radiactivo*, IPEN, Sao Paulo, Brasil, 1992.  
 SEEIMANN-EGGEBERT, W.: *Tabla de Núclidos*, Instituto de Radioquímica, Alemania, 1981.

**ecimetal**  
 EMPRESA COMERCIAL PARA LA  
 INDUSTRIA METALURGICA Y  
 METAL- MECANICA

LE OFRECE LA POSIBILIDAD  
 QUE Ud. ESPERA.

Dedicada a la atención de las ramas del desarrollo metal-mecánico y geológico-minero; ECIMETAL es una institución que brinda sus servicios en la realización de proyectos, estudios, suministros de equipos y materiales, así como asistencia técnica para la instalación de plantas industriales, líneas tecnológicas, completamiento de plantas y entrenamiento de personal.

Empresa ECIMETAL: La Habana, Cuba, Apto. 6124, Telex 51 1555

# EVALUACION EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE SEPARACION DE NIQUEL Y COBALTO

Dr. Antonio F. Muñoz Moner  
 Ing. Angel O. Columbié Navarro  
 Ing. Daniel Guzmán del Río

Departamento de Electromecánica, Instituto Superior Minero Metalúrgico, Las Coloradas 83320, Moa, Holguín

RESUMEN:

Se muestran los resultados más significativos de las corridas experimentales realizadas para definir el criterio de calidad del control automático.

ABSTRACT:

In this study of the process of cobalt separation are shown the most significant results of the experimental races carried out in order to define the criterion of quality of the automatic control.

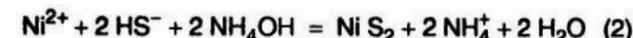
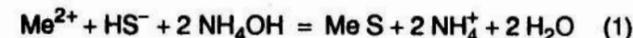
Las investigaciones experimentales del proceso de separación de níquel y cobalto a partir de una solución carbonato amoniacal se realizaron en una instalación experimental, equipada especialmente para el estudio de la influencia de las variaciones de los principales factores tecnológicos (gastos de reactivo y semilla) sobre la cinética del proceso de precipitación de los sulfuros de níquel y cobalto, la selectividad de la precipitación del cobalto (relación de níquel y cobalto en solución) y el grado de extracción.

El análisis de los resultados experimentales permitió establecer las principales regularidades del proceso de separación del cobalto y pronosticar, además, las perspectivas tecnológicas.

Estudio de la cinética de precipitación selectiva de los sulfuros de cobalto de las soluciones carbonato amoniacales

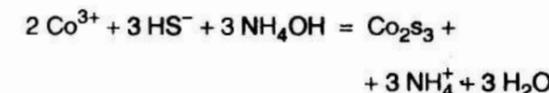
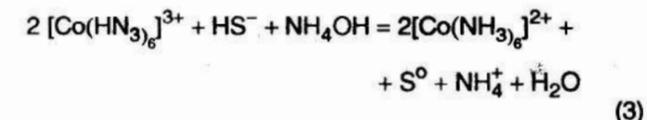
La esencia del estudio de la cinética de precipitación selectiva de los sulfuros de cobalto consiste en la determinación de la velocidad de formación de la fase sólida de sulfuro de cobalto CoS con el menor contenido de NiS de las soluciones carbonato amoniacales que contienen níquel. En estas soluciones la relación de concentración es de 40/1:50/1, según datos industriales. A partir de la teoría de la precipitación de metales en forma de sulfuros, puede decirse que la separación de los sulfuros poco solubles de cobalto está relacionada fuertemente con la composición de la solución y, en particular, depende de su pH. El valor del pH de las soluciones industriales se mantiene constante e igual a 10. Para un pH entre 9 y 11 existen preferentemente los iones HS<sup>-</sup>.

La reacción de separación de los sulfuros de níquel y cobalto de las soluciones carbonato amoniacales tienen la siguiente forma:



El cobalto está presente en forma de CoS, de estructura hexagonal.

Además de las reacciones señaladas anteriormente, durante el proceso ocurren las siguientes:



El cobalto precipita de las soluciones carbonato amoniacales en mayor grado en comparación con el níquel. Esto se deduce a partir de la magnitud del producto de la solubilidad de los sulfuros de níquel y cobalto en medio acuoso.

$$L_{NiS} = [Ni^{2+}][S^{2-}] = 1 \cdot 10^{-21}$$

$$L_{CoS} = [Co^{2+}][S^{2-}] = 1,8 \cdot 10^{-22} \quad (4)$$

$$L_{Co_2S_3} = [Co^{3+}][S^{2-}]^3 = 1,2 \cdot 10^{-126}$$

En medio amoniacal es necesario considerar la constante de inestabilidad de los complejos:

$$\frac{[Ni(NH_3)_6]^{2+}}{[Co(NH_3)_6]^{2+}} = \frac{K_2 L_{NiS}}{K_1 L_{CoS}} = 2,4 \cdot 10^4 \quad (5)$$

Por eso, en solución se queda una gran parte del níquel; el cobalto trivalente forma complejos amoniacales del tipo [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>3+</sup>, entonces:

$$\frac{[Ni(NH_3)_6]^{2+}}{[Co(NH_3)_6]^{3+}} = \frac{K_2 L_{NiS}}{K_1 L_{CoS}} = 1,4 \cdot 10^{78} \quad (6)$$

El valor obtenido muestra que en medio amoniacal, en presencia de iones bivalentes y trivalentes de cobalto y níquel ocurre la reacción (3). En las Figuras 1 y 2 se muestran las características cinéticas, la

variación del contenido residual de cobalto en la solución en el reactor tubular respectivamente.

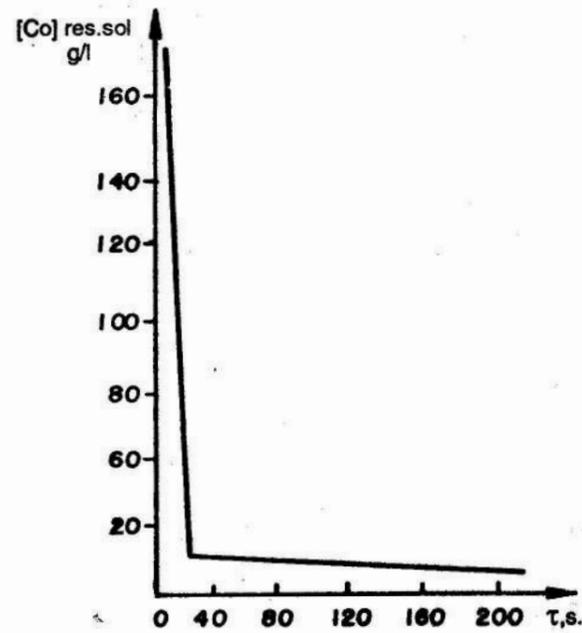


FIGURA 1. Dependencia cinética de la variación de cobalto residual en la solución durante la precipitación en el reactor tubular

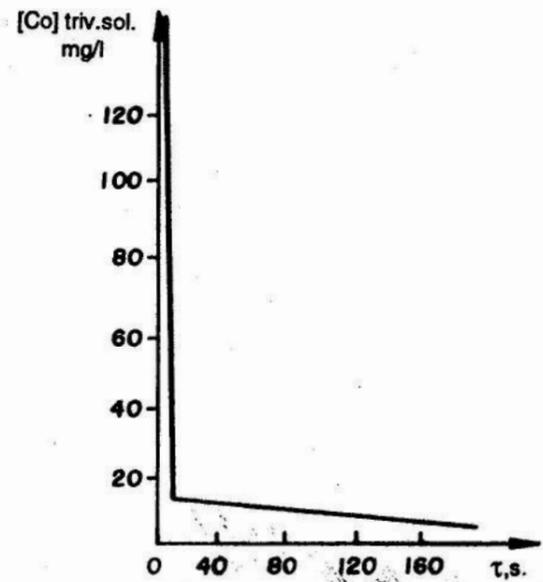
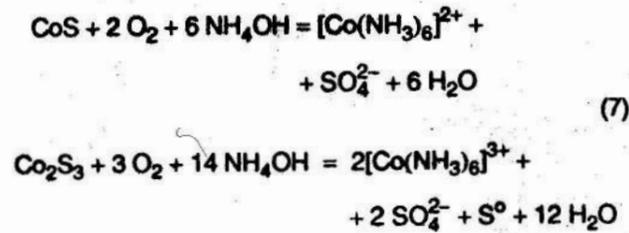


FIGURA 2. Dependencia cinética de la variación de cobalto residual trivalente durante la precipitación en el reactor tubular

Durante la estancia de la pulpa en el sedimentador ocurre la reacción inversa del cobalto, pasando éste a la solución. Este fenómeno está relacionado con el hecho de que la fase líquida (solución) contiene una pequeña cantidad de oxígeno disuelto, lo que produce la oxidación de los sulfuros de cobalto por las reacciones:



En las Figuras 3, 4, 5 y 6 se muestra la dependencia de la variación del contenido residual de cobalto en la solución del gasto de semilla, para diferentes concentraciones de cobalto en la solución inicial.

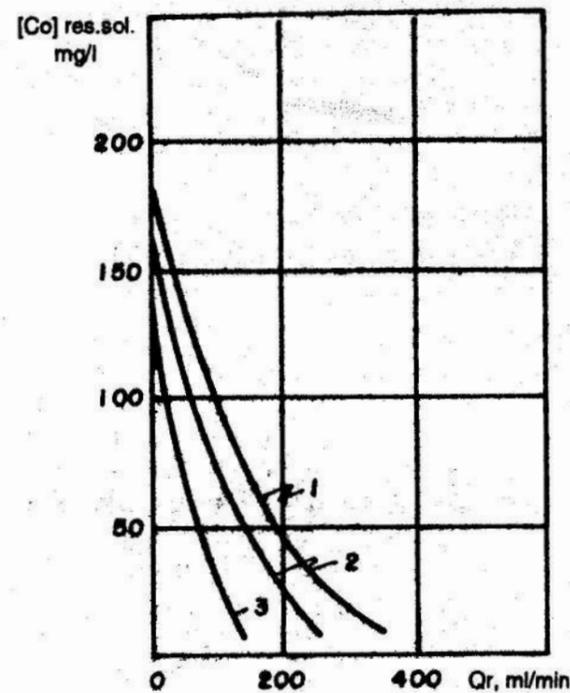


FIGURA 3. Dependencia del contenido de cobalto residual en la solución a la salida del reactor del gasto de reactivo para diferentes valores del gasto de semilla: gasto de semilla: 1 - 3 000 mg/L; 2 - 4 000 mg/L; 3 - 5 000 mg/L

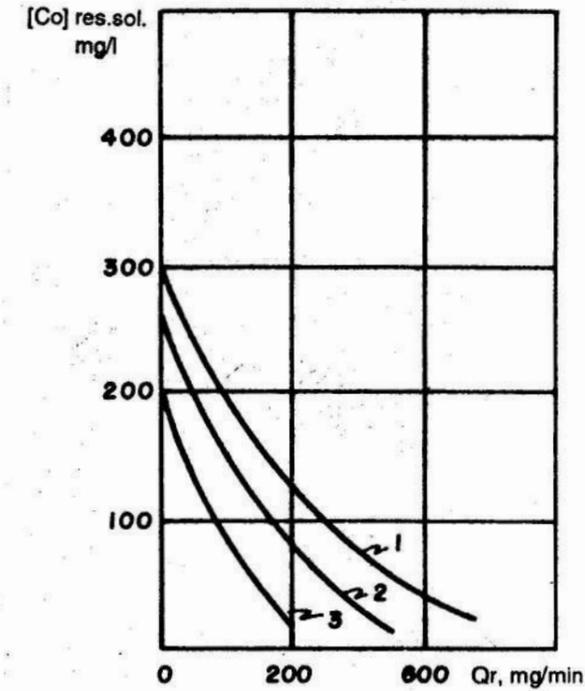


FIGURA 4. Dependencia del contenido de cobalto residual en la solución a la salida del reactor del gasto de reactivo para diferentes valores del gasto de semilla: gasto de semilla: 1 - 3 000 mg/L; 2 - 4 000 mg/L; 3 - 5 000 mg/L

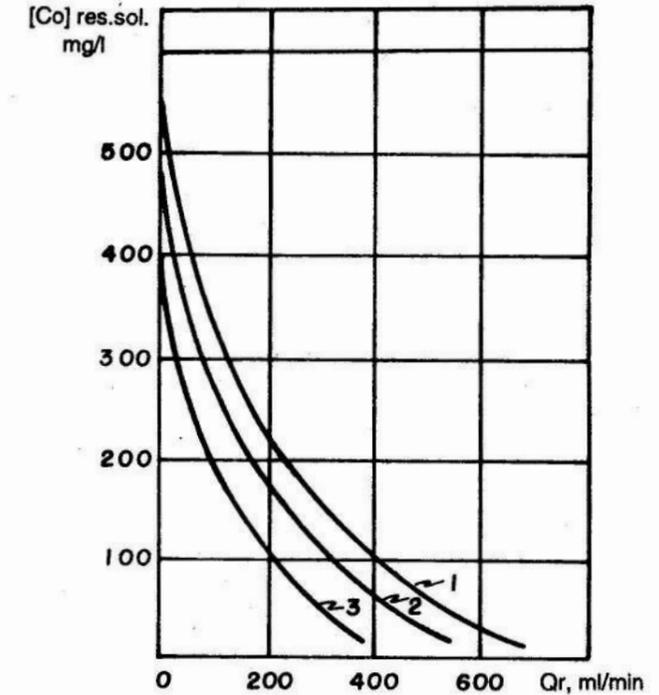


FIGURA 6. Dependencia del contenido de cobalto residual en la solución a la salida del reactor del gasto de reactivo para diferentes valores del gasto de semilla: gasto de semilla: 1 - 3 000 mg/L; 2 - 4 000 mg/L; 3 - 5 000 mg/L

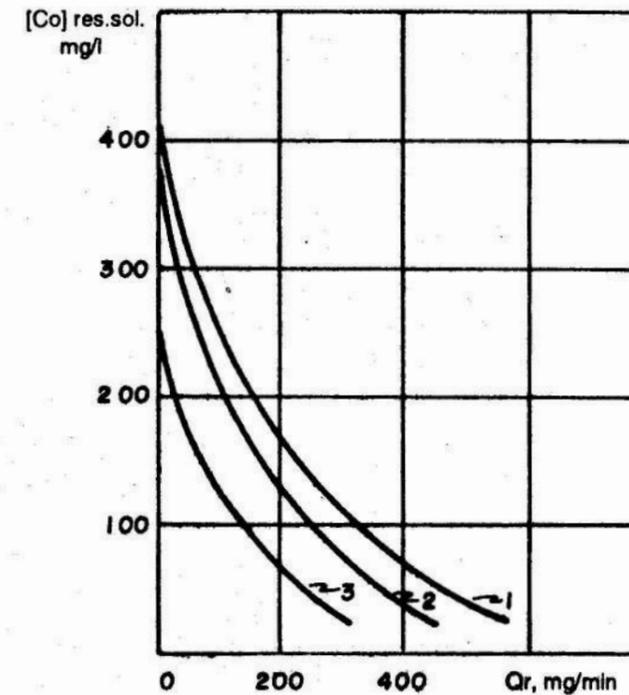


FIGURA 5. Dependencia del contenido de cobalto residual en la solución a la salida del reactor del gasto de reactivo para diferentes valores del gasto de semilla: gasto de semilla: 1 - 3 000 mg/L; 2 - 4 000 mg/L; 3 - 5 000 mg/L

### Influencia del gasto de reactivo sobre el proceso de separación de cobalto

La influencia del gasto de reactivo sobre el proceso de separación de cobalto, está estrechamente relacionada con la concentración de este elemento en la solución carbonato amoniacal que entra al reactor. En las Figuras de la 3 a la 6 se muestra la dependencia de la variación del contenido residual de cobalto en la solución inicial, de la pulpa que sale del reactor, del gasto de reactivo para diferentes gastos de semilla y constante cobalto residual en la solución. Estas dependencias, obtenidas para distintas concentraciones de cobalto en la solución inicial, muestran que la concentración de este elemento residual en la solución, disminuye proporcionalmente con el aumento del gasto de reactivo, resultando menor dicho gasto para mantener una concentración dada de cobalto residual en la solución mientras mayor sea el gasto de semilla.

Además, con el aumento de la concentración de cobalto en la solución, inicial es necesario aumentar el gasto de reactivo. Sirven de reafirmación a esto, los gráficos de las Figuras de la 7 a la 9, que muestran la dependencia del gasto necesario de reactivo y del gasto de semilla, para mantener una concentración dada de cobalto residual en la solución a la salida del reactor, para diferentes concentraciones de este elemento en la solución inicial. De ellas se observa que existe una zona determinada de gasto de semilla, donde ésta ejerce influencia sobre la precipitación de cobalto. An-

tes y después de los límites de esta zona, el gasto de semilla no influye sobre la precipitación. En la zona señalada, con el aumento de este gasto, disminuye la cantidad de reactivo necesaria para mantener un cobalto residual dado, lo cual es importante, ya que el reactivo de hidrosulfuro de amonio tiene un gran costo (ver Figuras 7, 8 y 9).

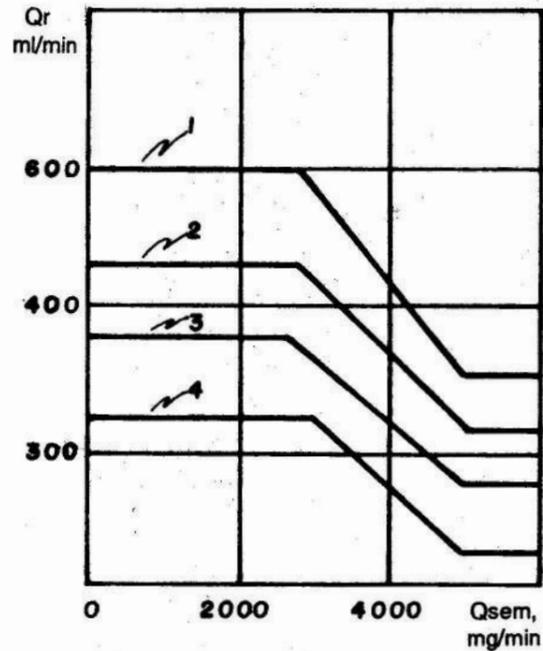


FIGURA 7. Dependencia del gasto de reactivo del gasto de semilla para contenido constante de cobalto residual en la solución a la salida del reactor igual a 60 mg/L; contenido de cobalto en la solución inicial: 1 - 0,6 g/L; 2 - 0,45 g/L; 3 - 0,31 g/L; 4 - 0,22 g/L.

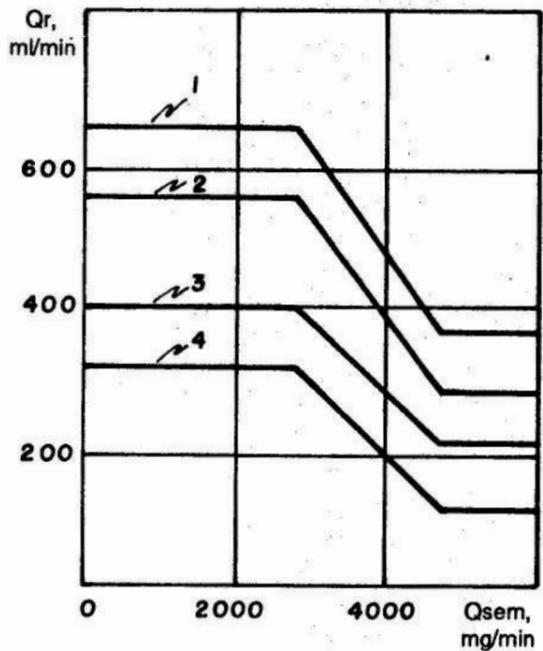


FIGURA 8. Dependencia del gasto de reactivo del gasto de semilla para contenido constante de cobalto residual en la solución a la salida del reactor igual a 40 mg/L; contenido de cobalto en la solución inicial: 1 - 0,6 g/L; 2 - 0,45 g/L; 3 - 0,31 g/L; 4 - 0,22 g/L.

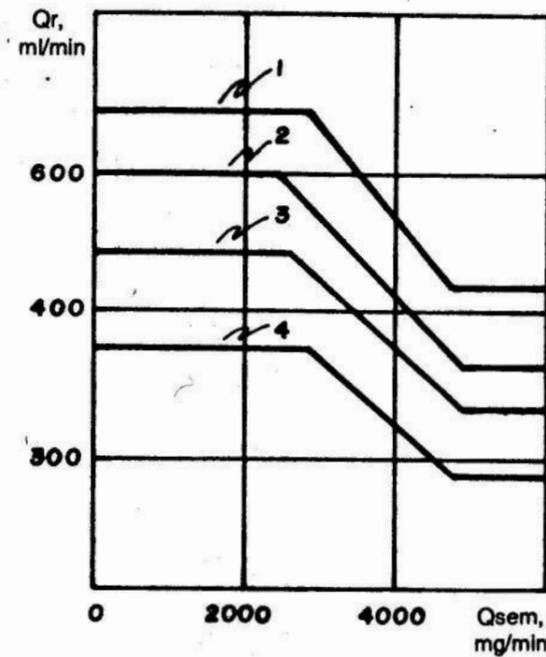


FIGURA 9. Dependencia del gasto de reactivo del gasto de semilla para contenido constante de cobalto residual en la solución a la salida del reactor igual a 10 mg/L; contenido de cobalto en la solución inicial: 1 - 0,6 g/L; 2 - 0,45 g/L; 3 - 0,31 g/L; 4 - 0,22 g/L.

Las dependencias mostradas fueron obtenidas a la salida del reactor, pero para iguales condiciones, los gráficos en las Figuras 10, 11 y 12 muestran que a la salida del sedimentador, con el aumento del gasto de semilla hasta cierto valor, el gasto de reactivo también aumenta. Esto se explica por el pasaje inverso del cobalto a la solución, ya que durante la estancia de la pulpa en el sedimentador, ocurre la reacción secundaria del sulfuro de cobalto con el oxígeno disuelto en la fase líquida de la pulpa. Esto produce la oxidación de los sulfuros de cobalto por la reacción (7), aumentando nuevamente la concentración de cobalto en la solución.

En todas estas dependencias, a mayor concentración de cobalto en la solución, mayor cantidad de reactivo es necesario suministrar a la entrada del reactor (ver Figuras 10, 11 y 12).

#### Influencia del gasto de semilla sobre el proceso de separación de cobalto

El análisis de la influencia del gasto de semilla según las dependencias, muestra que puede lograrse el ahorro del reactivo con el aumento del gasto de semilla hasta un cierto valor. En las Figuras de la 10 a la 12 los gráficos tienen un carácter extremal, o sea, tienen un mínimo, por lo que existe un gasto óptimo de semilla para el cual se logra el mínimo de gasto de reactivo. Estos gráficos para distintas concentraciones de cobalto se diferencian por la posición del mínimo.

La Figura 13 muestra el mínimo de los óptimos trazados por los valores del gasto de semilla, al cual corresponden mínimos del gasto de reactivo para distintas concentraciones de cobalto en la solución inicial (ver Figura 13).

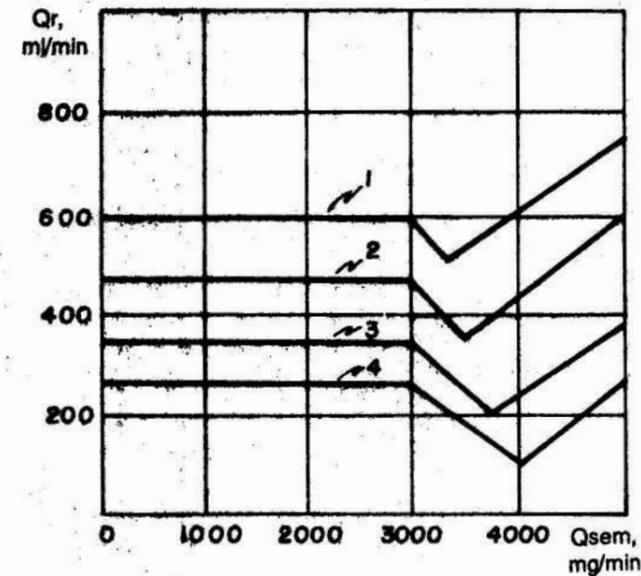


FIGURA 10. Dependencia del gasto de reactivo del gasto de semilla para el contenido constante de cobalto residual en la solución a la salida del sedimentador igual a 60 mg/L; contenido de cobalto en la solución inicial: 1 - 0,6 g/L; 2 - 0,45 g/L; 3 - 0,31 g/L; 4 - 0,22 g/L.

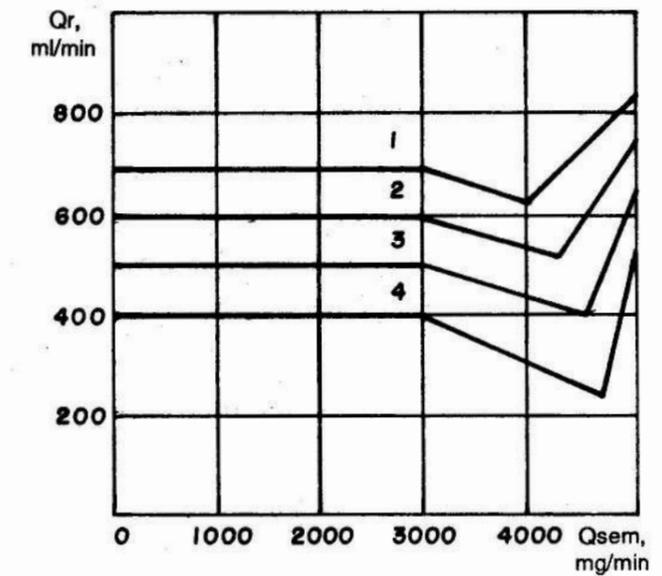


FIGURA 12. Dependencia del gasto de reactivo del gasto de semilla para el contenido constante de cobalto residual en la solución a la salida del sedimentador igual a 10 mg/L; contenido de cobalto en la solución inicial: 1 - 0,6 g/L; 2 - 0,45 g/L; 3 - 0,31 g/L; 4 - 0,22 g/L.

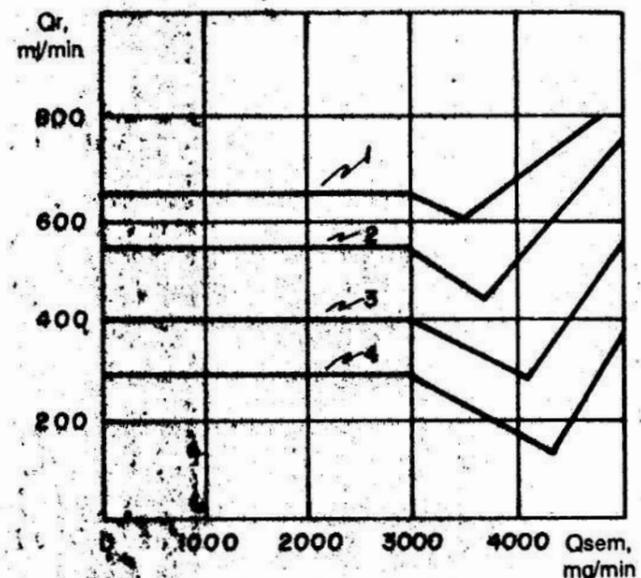


FIGURA 11. Dependencia del gasto de reactivo del gasto de semilla para el contenido constante de cobalto residual en la solución a la salida del sedimentador igual a 40 mg/L; contenido de cobalto en la solución inicial: 1 - 0,6 g/L; 2 - 0,45 g/L; 3 - 0,31 g/L; 4 - 0,22 g/L.

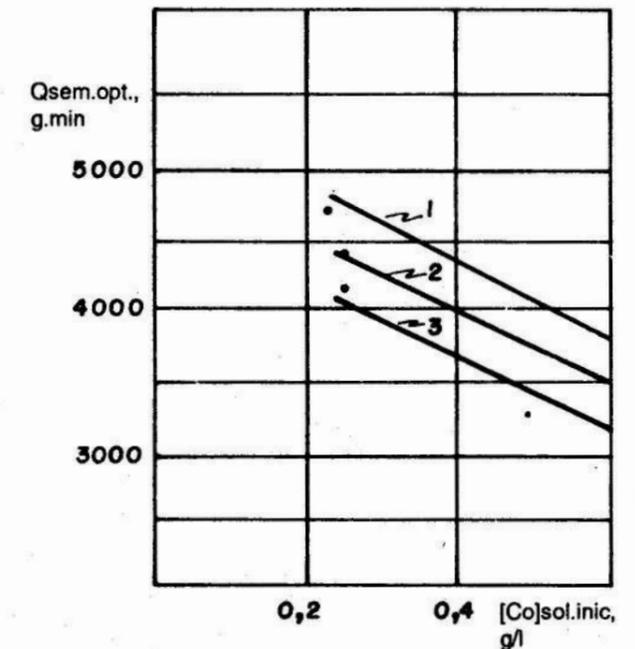


FIGURA 13. Dependencia del gasto óptimo de semilla del contenido de cobalto en la solución inicial para mantener un cobalto residual en la solución a la salida del sedimentador con un valor determinado; contenido de cobalto residual en la solución a la salida del sedimentador: 1 - 10 mg/L; 2 - 40 mg/L; 3 - 60 mg/L.

Cada una de la curvas muestra gráficamente un contenido específico de cobalto residual en la solución de salida del sedimentador. El mínimo de gasto de reactivo alcanzado con un determinado gasto de semilla, constituye un mínimo económico. Esto último se debe al aspecto fundamental de las inversiones del procesamiento del cobalto que es el gasto de reactivos. El gasto de energía eléctrica para el bombeo del concentrado de sulfuro (de semilla) es muy poco. Por tanto, es conveniente mantener el proceso cerca del mínimo de reactivo.

### CONCLUSIONES

El análisis de los resultados de las investigaciones realizadas en una instalación semi-industrial especialmente equipada, muestra que las dependencias del gasto necesario de reactivo del gasto de semilla, para mantener una concentración determinada del cobalto residual en la solución de salida del sedimentador, para distintos contenidos de cobalto en la

solución inicial, tiene un carácter extremal. Por eso existe un gasto óptimo de semilla para el cual se alcanza el mínimo de gasto de reactivo. Con el aumento del gasto de semilla por encima de cierto valor, el gasto necesario de reactivo también aumenta, lo cual se explica por el paso de cobalto a la solución producto de la reacción inversa. Estas investigaciones permiten conformar el esquema de ocurrencia de las principales reacciones del proceso de separación de níquel y cobalto.

### BIBLIOGRAFIA

- KASHERINOV, G.O.: "Behaviour of iron in amoniacal solution during leaching of cobalt from its ores", J. of applied chem, URSS (translation) 33 G, pp. 1225-1230, 1969.
- VIRUBOVA, T.O.: "Evaluación preliminar de los esquemas de control para subsistemas estabilizados de SADPT de acción continua", *Cibernética*, BNIITEN priborostroenia, pp. 69-71, 1982.
- POKROSKAYA, B.N.: *Transporte hidráulico en la industria minera*, 192 p., Ed. Nedra, Moscú, 1985.

# HALLAZGO DE CRISTAL DE ROCA EN LA REGION ORIENTAL DE CUBA

Ing. Carlos Leyva Rodríguez  
Dr. Leonid V. Kulachkov

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Instituto de Minas de San Petersburgo

### RESUMEN:

En la región oriental de Cuba fueron descubiertas cinco manifestaciones de cristal de roca localizadas, generalmente, en depósitos eluviales-deluviales en estrecha relación espacial con las vetas cuarzosas hidrotermales-metamórficas. En los principales campos cuarcíferos se encontraron cristales que por sus dimensiones y calidad, permiten suponer su evaluación positiva como materia prima piezo-óptica o como piedras semipreciosas y de colección. No se descarta la posibilidad de hallazgo de depósitos industriales.

### ABSTRACT:

In the Cuban eastern region five occurrences of crystal in eluvial-deluvial deposits were found, closely related with quartzous hydrothermal-metamorphic veins. Some crystals, by their dimensions and quality, may be evaluated as piezo-optical raw material and as precious or collection stones. New findings of industrial deposits might be possible.

El cristal de roca constituye una materia prima muy valiosa utilizada ampliamente en la práctica mundial para la construcción de equipos radiotécnicos y ópticos, como material primario durante la fundición con el fin de obtener vidrios especiales y fibras ópticas, en la elaboración de silicio metálico y ferrosilicio, como piedra preciosa en la joyería e incluso en la medicina alternativa.

Las drusas y cristales aislados, incluyendo aquellos con inclusiones minerales visibles, tienen un alto costo en el mundo como material de colección, aunque debe destacarse que los más valiosos son los cristales piezoópticos, el precio de los cuales alcanza en el mercado mundial 1 000 USD/kg de monobloque (A. Kariakin y otros, 1985).

En Cuba han sido reportados cristales grandes y gigantes en las montañas del Escambray y en la Isla de la Juventud, dentro de las áreas de desarrollo de las rocas metamorizadas intensivamente. Las investigaciones geológicas detalladas de estas manifestaciones no se han efectuado hasta el presente, según nuestra opinión, motivado por un pesimismo a priori y sin fundamentación de minimizar estos recursos, tanto en cantidad como en posibilidades de utilización.

En los últimos años se han realizado diferentes trabajos geológicos sobre el cuarzo filoneano monomineral, el cual sirve como sustituto del cristal de roca y en algunos casos puede utilizarse como carga para el crecimiento de cristales de roca artificiales.

Durante la realización de los trabajos pronósticos para cuarzo filoneano en la región oriental de Cuba fueron descubiertas cinco manifestaciones de roca, estando en todos los casos vinculadas con las vetas cuarzosas localizadas en rocas metamorizadas de las facies epidoto-anfibolítica (L. Kulachkov y C. Leyva, 1989-90; C. Leyva y Kulachkov, 1993). En el campo cuarcífero La Corea, perteneciente a la Fm. del mismo nombre, la acumulación eluvial-deluvial de cristales transparentes de un tamaño de hasta 80 mm se localiza en la zona de El Halcón y yace sobre una veta cuarzosa concordante. Las rocas encajantes son esquistos cristalinos cuarzo-feldespático-micáceos de grano medio, muy plegados.

La roca cuarzosa filoneana es prácticamente monomineral, de color blanco, grano gigante, con testigos de recristalización en la superficie de las grietas en forma de microcristales de cuarzo y con desarrollo de vacíos donde deben haberse formado algunas de las caras de los cristales transparentes. En la zona de exocontacto de la veta, se desarrolla mica clara de grano grueso (Moscovita ?).

Los cristales tienen hábito isométrico con desarrollo de caras romboédricas y caras de bipirámide trigonal poco reveladas (ver Foto 1). Cerca de la mitad de los cristales localizados son transparentes, la mayoría alcanza 40-50 mm. Junto con los cristales isométricos se encuentran algunos de hábito columnar, cortos. En los cristales transparentes se encuentran inclusiones de minerales arcillosos (?) y clorita, incluso en las zonas de crecimiento.

En el campo cuarcífero El Palenque (C. Leyva y L. Kulachkov, 1993), ubicado en el flanco nororiental del macizo Sierra del Convento, fueron localizados cristales de roca en dos manifestaciones también de hábito isométrico en grietas que cortan las rocas aplíticas. La potencia de las grietas no es grande y los cristales tienen una altura de hasta 25 cm (ver Foto 2), a veces en éstos se observan finas inclusiones aciculares de anfibol, ubicados en la zona de crecimiento de los cristales.

Durante la ejecución de itinerarios en el campo cuarcífero Sabanalamar, el cual se localiza en la cuenca del río del mismo nombre y pertenece al distrito cuarcífero Sierra del Convento se descubrieron dos acumulaciones eluviales-

