



CARBÓN ACTIVADO PARA RECUPERAR ORO DE SOLUCIONES CIANURADAS

ING. JORGE CHIRINOS MORALES

*E*l Ing. Chirinos aborda el apasionante tema de la recuperación del oro de soluciones cianuradas.

Se trata del metal precioso por excelencia y las ideas expuestas por el autor son de valioso interés para los futuros profesionales Ingenieros Industriales que se forman en nuestra Facultad.

La experiencia que demuestra el autor en este asunto y que pone al servicio de los lectores en este artículo, ha de servir para que se compruebe que a partir del carbón se puede, mediante los procedimientos técnicos, la obtención del oro.

El carbón activado es empleado industrialmente en el tratamiento de minerales y relaves de baja ley para recuperar el oro contenido en soluciones cianuradas por los procesos denominados carbón en pulpa (CIP), carbón en Lixiviación (CIL) y carbón en columna (CIC).

El carbón activado usado en minería es el llamado carbón activado adsorbente, que es un sólido de gran porosidad que tiene un área superficial $>1000 \text{ m}^2/\text{g}$ y una porosidad donde el 95% se encuentra entre $10\text{-}20 \text{ \AA}$, lo que le da una alta capacidad adsorbente.

Los mecanismos de recuperación del oro con carbón activado son la adsorción, desorción y electrodeposición, a partir de soluciones cianuradas donde el oro se encuentra en forma iónica con carga negativa constituido por el cianuro áurico $\text{Au}(\text{CN})_2^-$.

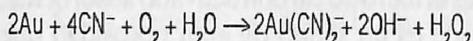
Con la adsorción el carbón capta los iones que contiene el oro por la interacción electrostática de la carga positiva de la superficie del carbón; e inversamente, con la desorción el carbón cargado se somete a un proceso de alta temperatura a fin de recuperar dichos iones valiosos usando ya

sea soda cáustica o alcohol.

Después que el carbón ha sido desorbido y el oro incorporado a la solución re-extraída, éste se recupera en celdas electrolíticas por electrodeposición, empleándose para ello cátodos y ánodos contruidos de lana de acero y planchas de acero inoxidable, respectivamente. Se hace una revisión de las investigaciones realizadas sobre la naturaleza del carbón activado y la cinética de adsorción y desorción, así mismo se analizan otros factores como el pH, la temperatura y la fuerza iónica.

INTRODUCCION

La lixiviación del oro a partir de un mineral se realiza en un ambiente oxidado, tal como sugiere Bodlaender en la siguiente ecuación:



Hay que tener en cuenta que en dicho ambiente también puede lixivarse otros minerales, especialmente algunos sulfuros secundarios que forman una solución cianurada compleja; veamos algunos ejemplos a partir de ciertos minerales:

| | | | |
|------------|---------------------|---|---|
| Pirita | : FeS | — | Fe(OH) ₃ , Fe(CN) ₆ ³⁻ , SO ₄ ⁻ |
| Covelita | : CuS | — | Cu(CN) ₂ ⁻ , Cu(CN) ₃ ⁻ , SO ₄ ⁻ |
| Lollingita | : FeAs ₂ | — | AsO ₂ ⁻ , AsO ₃ ³⁻ , S ₂ ²⁻ , S ₂ O ₃ ²⁻ |
| Blenda | : ZnS | — | Zn(CN) ₃ ⁻ , Zn(CN) ₄ ²⁻ |
| Argentita | : Ag ₂ S | — | Ag(CN) ₂ ⁻ , S ²⁻ |

El consumo de cianuro está en proporción directa a la cantidad de cianidas que constituyen el mineral, en conse-

cuencia hay que determinar su costo para establecer la rentabilidad del proceso; se han dado caso que son rentables para tratar relaves y minerales que contienen oro y plata hasta cierta proporción, como:

| | Leyes | | Contenido | | |
|-----------|-------|-------|-----------|-------|---------|
| | Oro | Plata | (gr/Tm) | | |
| | gr/Tm | oz/Tm | Oro | Plata | Tipo |
| Otuzco | 1.0 | 4.2 | 1.0 | 131.0 | Relaves |
| Algamarca | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 218.0 | Mineral |

El caso de Otuzco, de la Cía. Minera Otuzco S.A., fue factible debido a que se trataba de relaves donde el costo de producción es bajo y las cotizaciones de la plata eran superiores a las actuales y el caso de Algamarca, de la Cía. Minera Algamarca S.A., porque se trataba de optimizar el proceso Merrill Crowe debido a la abundancia de finos, que no permitían obtener recuperaciones adecuadas. El carbón activado es indicado cuando la presencia de finos es grande.

La secuencia de los procesos de adsorción, desorción y electrodeposición se aprecia en la figura 1.

Un análisis típico del carbón cargado nos muestra los siguientes resultados en ppm:

| Au | Ag | Cu | Fe | Ni | Si | Ca |
|--------|-----|--------|-------|--------|-------|--------|
| 12 600 | 119 | 10 100 | 1 500 | 1 470 | 1 840 | 9 700 |
| 15 700 | 369 | 4 265 | 2 580 | 12 050 | 1 885 | 17 600 |

El lavado ácido del carbón cargado elimina gran parte del calcio, zinc, cobre

FIG.1: ADSORCION, DESORCION Y ELECTRODEPOSICION

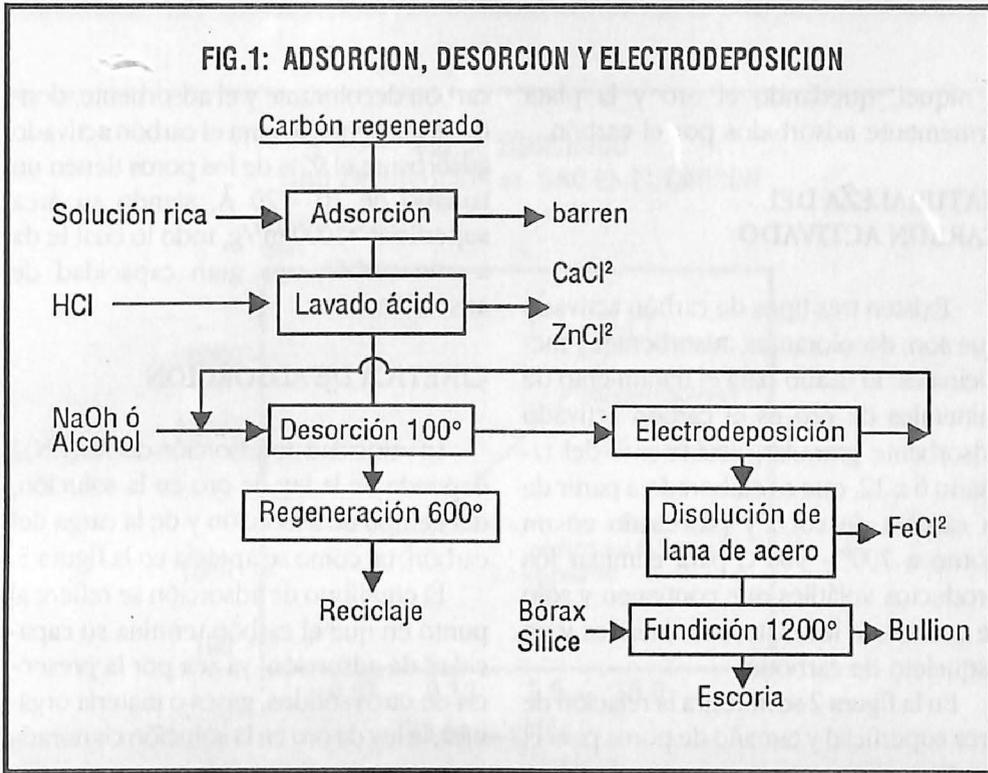
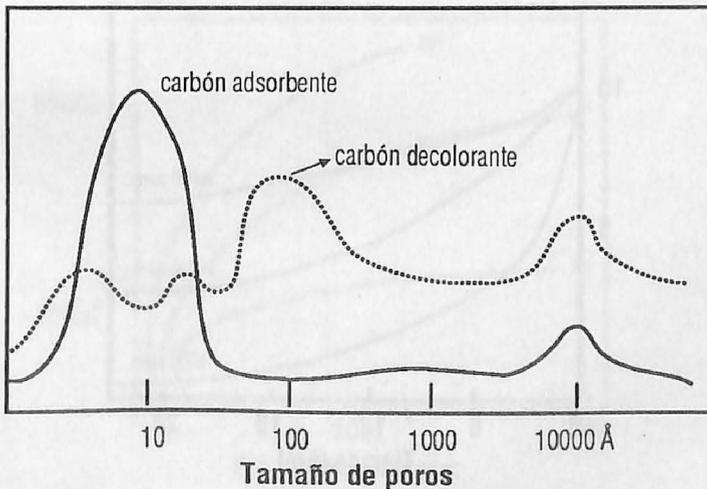


FIG.2: AREA SUPERFICIAL vs. TAMAÑO DE POROS

Area superficial
dada por
tamaño de poros



y níquel, quedando el oro y la plata firmemente adsorbidos por el carbón.

NATURALEZA DEL CARBON ACTIVADO

Existen tres tipos de carbón activado que son: decolorantes, adsorbentes y medicinales. El usado para el tratamiento de minerales de oro es el carbón activado adsorbente granular, usualmente del tamaño 6 x 12, que es elaborado a partir de la cáscara de coco y procesado en un horno a 700° - 900°C para eliminar los productos volátiles que contienen y sólo se conserven las materias minerales y un esqueleto de carbono.

En la figura 2 se muestra la relación de área superficial y tamaño de poros para el

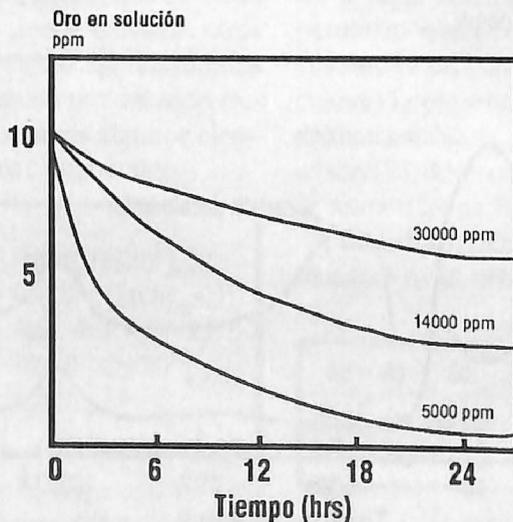
carbón decolorante y el adsorbente, donde se observa que para el carbón activado adsorbente el 95% de los poros tienen un tamaño de 10 - 20 Å, siendo su área superficial >1000 m²/g, todo lo cual le da a este carbón una gran capacidad de adsorción.

CINETICA DE ADSORCION

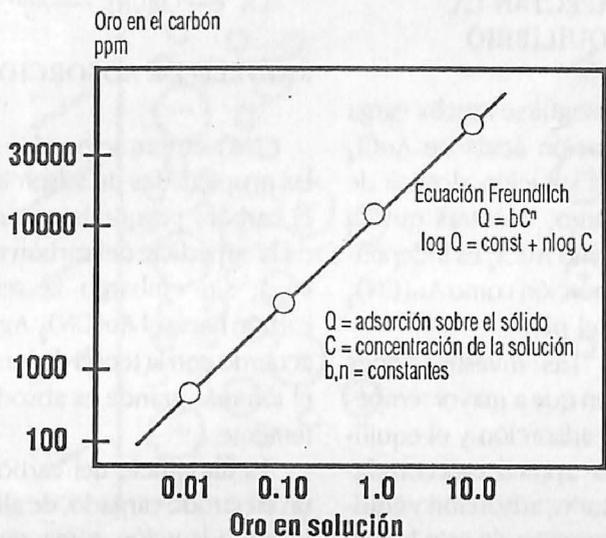
La velocidad de adsorción del Au(CN)₂ depende de la ley de oro en la solución, del tiempo de adsorción y de la carga del carbón, tal como se aprecia en la figura 3.

El equilibrio de adsorción se refiere al punto en que el carbón termina su capacidad de adsorción, ya sea por la presencia de otros sólidos, gases o materia orgánica, la ley de oro en la solución cianurada

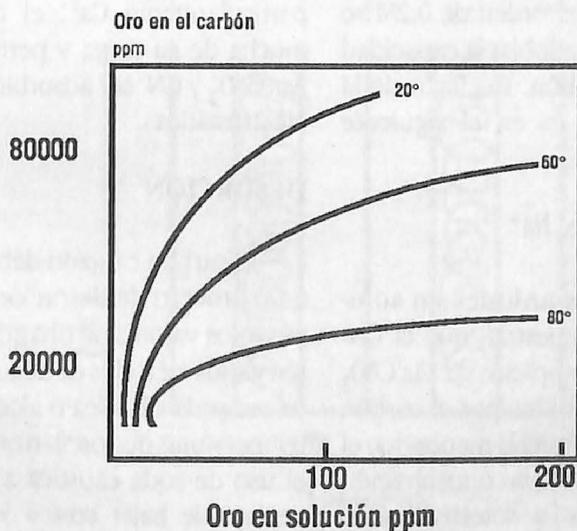
FIG.3: CINETICA DE ADSORCION ORO EN SOLUCION vs. TIEMPO



**FIG.4: EQUILIBRIO
ORO EN SOLUCIÓN vs. ORO EN EL CARBÓN**



**FIG.5: CINETICA DE ADSORCION Y EQUILIBRIO
EFECTO DE LA TEMPERATURA**



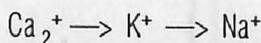
y el tiempo de adsorción, todas estas interrelaciones pueden verse en la figura 4.

FACTORES QUE AFECTAN LA CINÉTICA Y EL EQUILIBRIO

pH.- Puede conseguirse mucha carga de oro en una solución ácida de AuCl_4 comparado con una solución alcalina de $\text{Au}(\text{CN})_2^-$; sin embargo, mientras que la adsorción de oro como AuCl_4 es independiente del pH, la adsorción como $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ es independiente del pH.

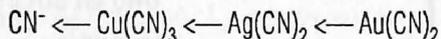
Temperatura.- Las investigaciones realizadas establecen que a mayor temperatura desmejora la adsorción y el equilibrio, en la figura 5 se aprecia esta correlación entre temperaturas, adsorción y equilibrio; como consecuencia de este hecho los procesos de desorción tienden a realizarse a altas temperaturas.

Fuerza iónica.- La presencia de algunos electrolitos en solución como el CaCl_2 aumentan la adsorción del oro, de allí la conveniencia de añadir NaCl o CaCl_2 . Con una concentración del orden de 0.2M se puede eventualmente doblar la capacidad de adsorción del carbón. El efecto de la adición de cationes es en el siguiente orden:



CN^- libre y otros aniones en solución.- Las pruebas muestran que el CN^- libre y los cianuros complejos de $\text{Cu}(\text{CN})_3^-$ y $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ son absorbidos por el carbón con una selectividad mucho menor que el oro; sin embargo cuando la concentración del CN^- aumenta dicha selectividad se revierte, habiéndose encontrado que con

una concentración mínima de 0.1M de CN^- libre dicha selectividad es:



MODELO DE ADSORCIÓN

No siempre se pueden explicar todas las propiedades de adsorción del oro por el carbón, porque la naturaleza química de la superficie del carbón todavía es algo vaga; sin embargo la selectividad del carbón hacia el $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, CN^- . De acuerdo con la teoría de iones en solución el ión más grande es absorbido preferentemente.

La superficie del carbón actúa como un electrodo cargado, de allí que el modelo de adsorción toma en cuenta estas fuerzas que actúan en la interfase, como se aprecia en la figura 6.

El modelo considera al $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ como un anión que está siendo adsorbido acompañado de moléculas de agua. Como está cargado negativamente atrapa cationes, particularmente Ca^{2+} el cual neutraliza mucha de su carga y permite además al $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ y CN^- ser absorbidos por fuerzas electrostáticas.

DESORCIÓN

El carbón cargado debe ser sometido a un proceso de desorción a fin de recuperar los valores de oro adsorbidos. Existen varios métodos de desorción que usan ya sea soda cáustica o alcohol, aplicando temperaturas que oscilan entre 70° a 140°C, el uso de soda cáustica a 140°C tiene la ventaja de bajar costos y el tiempo de desorción.

FIG.6: MODELO DE ADSORCION

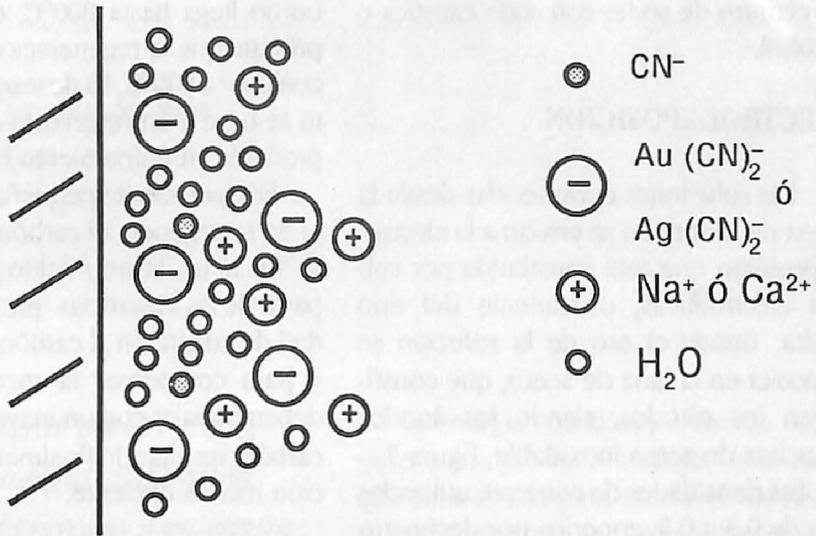
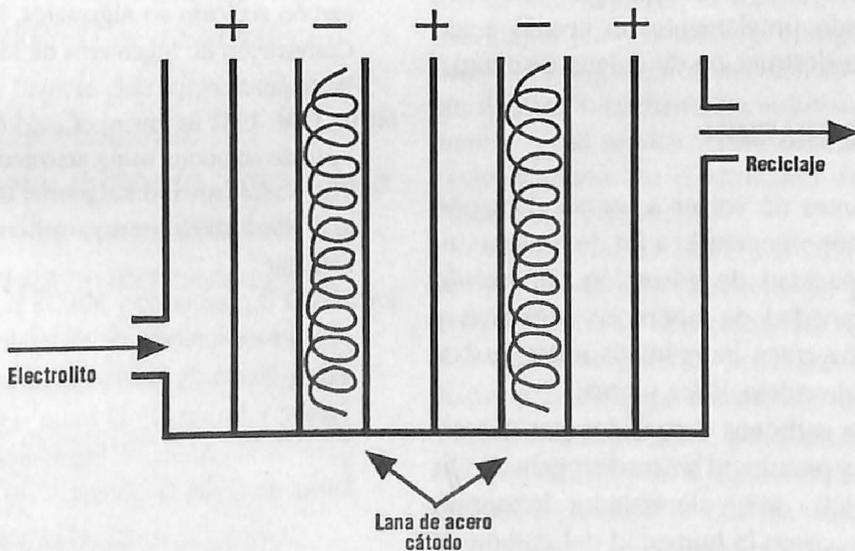


FIG.7: CELDA ELECTROLITICA



Para desorber el oro desde los carbones se usa una columna vertical para aplicar al carbón una solución extractante de cianuro de sodio con soda cáustica o alcohol.

ELECTRODEPOSICION

Las soluciones enriquecidas desde la etapa de desorción se envían a la electrodeposición que está constituida por celdas electrolíticas, usualmente del tipo Zadra, donde el oro de la solución se deposita en la lana de acero, que constituyen los cátodos, siendo los ánodos planchas de acero inoxidable, figura 7.

Las densidades de corriente utilizadas son de 0.3 a 0.8 amperios por decímetro cuadrado de superficie de cátodos, variando el consumo de energía entre 0.4 a 0.8 Kw/hora por onza de metales depositados.

El electrólito agotado se recicla al circuito de desorción y el oro depositado en los cátodos se recupera por fundición, haciendo previamente un lavado ácido para la destrucción de la lana de acero.

REGENERACION

Antes de volver a usarse el carbón debe ser regenerado a fin de reconstituir su capacidad de adsorción eliminando una variedad de sustancias orgánicas y constituyentes inorgánicos como carbonatos de calcio, sílice y otros.

Los carbones desorbidos son descargados y pasados al horno de regeneración por medio de un alimentador de tornillo sin fin, como la humedad del carbón es del orden del 50% ésta se elimina antes de

ingresar el carbón al horno aprovechando el calor residual del mismo.

El calentamiento de la cubierta del horno llega hasta 800°C, con lo que se procura que la regeneración se produzca con 600° a 800°C. La descarga del producto se hace a un reservorio con agua para producir un enfriamiento brusco.

En operaciones pequeñas normalmente no se regenera el carbón, haciendo en su lugar un lavado ácido para eliminar parte de las sustancias que restan capacidad de adsorción al carbón; en este caso, y para compensar la menor adsorción deben trabajar con un mayor volumen de carbón, resultando finalmente una operación menos eficiente. □

BIBLIOGRAFIA

- CHIRINOS MORALES, Jorge 1991 Procesamiento aurífero con polvo de zinc y carbón activado en Algamarca, XX Convención de Ingenieros de Minas del Perú, Lima.
- MUIR, D.M. 1982 Recovery of gold from cyanide solutions using activated carbón, The Aus. Perth and Kalgoorlie Branch and Murdoch University, carbon-in-pulp Seminar.
- PACHECO B., Leonardo y MILOS B., Alex 1992 Procesamiento de minerales en altura, Planta de lixiviación en pilas Tambo y Planta CIP El Indio, 43° Convención Anual de Ingenieros de Minas de Chile, La Serena.