

Ensayos de recuperación de oro desde carbon fino residual cargado por via hidrometalurgica

Tests of gold recovery from fine carbon by hydrometallurgy

Antonella Velazco<sup>1</sup>  
Martin Onorato<sup>2</sup>  
Fernando Torres<sup>1</sup>

---

1. Instituto de Investigaciones Mineras. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca. Maximio Victoria N° 55. (4700) Catamarca. Argentina. velantonella@gmail.com.  
2. Minas Argentinas S.A.



## RESUMEN

**E**l objetivo de este trabajo es estudiar el tratamiento hidrometalúrgico para la recuperación de oro a partir de carbón fino residual cargado con oro, aplicando la metodología para transferir oro a trozos de carbón fresco, utilizando un medio de transferencia acuoso. Como resultado del proceso, el oro adsorbido en el carbón fino se transfiere al carbón grueso. Las primeras pruebas se llevaron a cabo en un lote a escala de laboratorio para determinar el efecto de las diferentes variables involucradas en la transferencia de oro a partir del carbón fino residual cargado a trozos de carbón grueso. Definidas las variables, se realizaron 53 ensayos, considerando las variables de proceso óptimas previamente determinadas, obteniendo resultados con 90% de nivel de confianza, 9% de error y una desviación estándar de 0,5. Los mejores resultados se obtuvieron con una concentración de cianuro de 2.000 ppm; pH 12,5, tiempo de ciclo de seis horas y la aplicación de tres ciclos de transferencia. Cada ciclo de transferencia requiere el medio de adaptación antes de comenzar el siguiente ciclo, cuantificado mediante la adición del 50% de la concentración de cianuro a la transferencia.

**Palabras Clave:** Carbón activado, solución cianurada, Carbón cargado de Oro, adsorción.

## SUMMARY

The objective of this work is to study the hydrometallurgical treatment for gold recovery from residual fine coal loaded with gold, applying the methodology to transfer gold fresh lump coal, using an aqueous transfer medium, as a result of the process of the gold adsorbed on the fine coal is transferred to lump coal. First tests were carried out at laboratory scale batch to determine the effect of different variables involved in the transfer of gold from residual fine coal lump coal charged to cool. Defined variables, 53 trials were carried out, considering the optimum process variables previously determined, obtaining results with 90% confidence level, 9% error and a standard deviation of 0,5. The best results were obtained with a cyanide concentration of 2.000 ppm; pH 12,5, cycle time of six hours, and the application of three transfer cycles. Each transfer cycle, requires the adaptation

medium before starting the next cycle, quantified by adding 50% of the concentration of cyanide to the transfer.

**Keywords:** Activated carbon, cyanide solution, Charcoal Gold, adsorption.

## INTRODUCCION

Las Plantas de ADR (Adsorción-Desorción-Recuperación), utilizan una tecnología de recuperación de oro desde soluciones de oro, de adsorción en carbón activado y generan un residuo de carbón fino que contiene oro de muy alta ley. Esto representa una importante fuente de ingresos adicionales. En el proceso, el carbón utilizado reduce su tamaño por atrición (abrasión mecánica), llegando a generar carbono residual fino cargado con oro. Esta es una situación habitual de todas las plantas que emplean carbón activado en hidrometalurgia de oro, su principal problema, es que debido a problemas hidrodinámicos (elutriación), el carbón fino no puede eluirse mediante el debido proceso de elusión en la planta de procesamiento. El carbón fino residual tratado en este trabajo corresponde al carbón - # 20 ASTM producto del proceso de recuperación de oro utilizando carbón activado aplicado en la planta de tratamiento de la minería.

Hemos estudiado la recuperación de oro del carbón fino cargado en contacto con carbón activado fresco y una solución acuosa de cianuro de sodio como reactivo de transferencia para formar una suspensión agitada de carbón grueso y solución de cianuro de carbón fino, esta técnica es desarrollada por Eric M, Hill y Hsing Kuang Lin (2001)[1]. El carbón grueso se retiene en la suspensión formada en la operación de mezclado por agitación continua durante un período de tiempo suficiente para transferir el oro del carbón fino cargado de oro al carbón grueso nuevo, por lo que el carbón se convierte en carbón grueso cargado de oro, y el carbón fino se convierte en carbono con bajo contenido de oro. A lo largo de los ensayos, la suspensión se mantuvo a temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C).

Después de que se completa el período de transferencia, cuando el contenido de oro del carbón grueso y fino tiende a igualarse, la mayor parte del carbono cargado de oro se separa de la suspensión mediante tamizado, dejando una suspensión libre de carbón grueso, con carbón fino agotado en oro. El oro se puede recuperar de este carbón grueso

mediante cualquier método adecuado, incluida la técnica de lixiviación con cianuro y el método de extracción electrolítica [2].

La solución de transferencia consiste en cianuro de sodio a una concentración de entre 0,05% y 0,2%. El carbón grueso agregado en la etapa de mezclado del método descrito es “nuevo”, es decir, no se ha utilizado previamente en un proceso de recuperación. Se puede transferir más oro del carbón fino cargado con oro al carbón grueso repitiendo los pasos de transferencia y separación que llamamos “ciclo de transferencia”, mejorando así la recuperación final.

## **PARTE EXPERIMENTAL**

### **Análisis de variables en el proceso de transferencia de oro del carbón fino residual cargado al carbón grueso:**

Procedimiento: Primero definimos las variables estudiadas. Se seleccionaron: la concentración de cianuro, el pH de la solución, la relación sólido-líquido del tiempo de suspensión y la cantidad de ciclos de agitación. Las condiciones de los ensayos realizados se muestran en la Tabla 1. Se tomó carbón fino cargado con oro y se coloca en una botella tapada de una capacidad de 5 L en contacto con carbón activado nuevo y una solución acuosa de cianuro de sodio para formar una suspensión agitada de carbón grueso y solución de carbón fino. La suspensión formada en la operación de mezclado se agitó continuamente en una mesa rotativa mientras que el oro se transfirió del carbón fino al carbón grueso. La suspensión se mantuvo a temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C). El carbón grueso se mantuvo en suspensión durante un período de tiempo suficiente para que el oro se transfiriera del carbón fino cargado de oro al carbón fresco y grueso, por lo que el carbón grueso se cargó con oro y se descargó el carbón fino. El carbón grueso cargado de oro se separó de la suspensión mediante un tamiz (serie ASV # 20) que contuvo al carbón grueso, dejando así una suspensión libre de carbón grueso y que contenía carbón fino empobrecido en oro; completando así una etapa o ciclo de transferencia. La suspensión resultante de la separación del carbón fino del carbón grueso contiene oro agotado, que se reutiliza para iniciar un nuevo ciclo de transferencia, añadiendo carbón fresco; el proceso se repite para completar tres etapas o ciclos de transferencia de oro.

Tabla 1. Pruebas de condiciones y resultados.

Condiciones del ensayo						Resultados			
Relación carbón fino/grueso	Solución de transferencia		% Sp	Tiempo del Ciclo (Hs)	N° ciclos	Recuperación (%)/ciclo			Total recuperación n (%)
	Cianuro (ppm)	pH				1° ciclo	2° ciclo	3° ciclo	
1:1	2.000	12,5	20,0%	6	3	58,44	29,82	3,26	91,52
1:1	1.000	12,5	20,0%	6	3	41,61	34,42	8,17	84,20
1:1	1.000	12,5	20,0%	4	3	26,80	18,30	5,12	41,10
1:1	1.000	12,5	16,0%	6	3	51,43	24,43	4,65	80,51
1:1	500	12,5	30,0%	4	3	42,50	21,67	3,20	67,37
1:1	500	11,5	30,0%	4	3	27,84	29,02	2,15	59,01
1:1	200	12,5	16,0%	6	3	41,50	22,31	4,49	68,30
1:1	200	12,5	14,7%	4	3	58,73	2,73	5,36	66,82
1:1	200	12,5	25,0%	4	3	34,38	32,42	16,50	83,30

Los cálculos se basan en la ecuación de recuperación que se presenta a continuación:

$$Rec = \frac{Cc}{Ff} * 100 \quad (1)[3]$$

Dónde C es el peso del carbón al final del ciclo [Ton]; c el contenido de oro en carbono al final del ciclo [gr / ton]; F el peso de carbón de alimentación inicial, [Ton] y f el contenido de oro inicial de carbón [g/Ton]

### Pruebas de análisis determinista para transferir oro:

Para tener pruebas cuyos valores de precisión y nivel de confianza sean cuantificables, se realizaron pruebas de repetición basadas en el teorema del límite central y considerando la aplicación de las condiciones óptimas obtenidas de las pruebas realizadas para determinar la influencia de las variables en el proceso. Siguiendo la metodología operacional descrita para el análisis de las variables pero considerando condicionar 2.000 ppm de NaCN en los medios de transferencia para comenzar cada nuevo ciclo, se realizaron 53 ensayos de transferencia en muestras de oro fino residual cargado con oro, a carbón activado nuevo, considerando los valores óptimos de las variables analizadas, y se encontró que, en promedio, el 97% del oro en carbón fino residual se transfiere al carbón activado reciente. Las condiciones bajo las cuales se realizaron las pruebas son a 11,5 pH, 2.000 ppm de Cianuro, 20%Sp, 1:1 relación carbón fino: grueso y 3 ciclos de 6 hs cada uno.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Efecto del tiempo en el ciclo de recuperación

Variando el tiempo de agitación se observó una marcada influencia en la recuperación, logrando recuperaciones de transferencia de 91,52% de oro, desde el carbón fino residual cargado con oro, utilizando tres ciclos de 6 horas cada uno.

### Efecto de la concentración de cianuro en la recuperación

Comparando pruebas a concentraciones de 1.000 y 200 ppm NaCN se demuestra que la recuperación es mayor cuando la solución de transferencia tiene mayor contenido de NaCN ppm, alcanzando 80,51% de recuperación en solución con 1.000 ppm de NaCN en comparación con 68,30% obtenido en solución con 200 ppm de NaCN (ver figura 1). Por lo tanto, el aumento en la concentración de cianuro en la solución de transferencia produce efectos positivos durante la transferencia de oro desde el carbón activado fino al grueso.

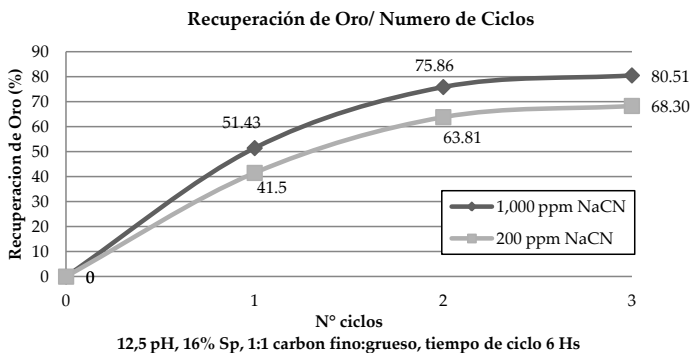


Figura 1. Efecto de la Concentración de Cianuro en el proceso de transferencia de oro.

### Efecto del pH en la recuperación

La solución de transferencia de ensayos a pH 11,5 y 12,5 demuestra que al aumentar el pH en la solución de transferencia se modifica favorablemente el paso de oro desde el carbón fino residual cargado al carbón grueso fresco de 59.01% a 67,37% respectivamente. Ver figura 2.

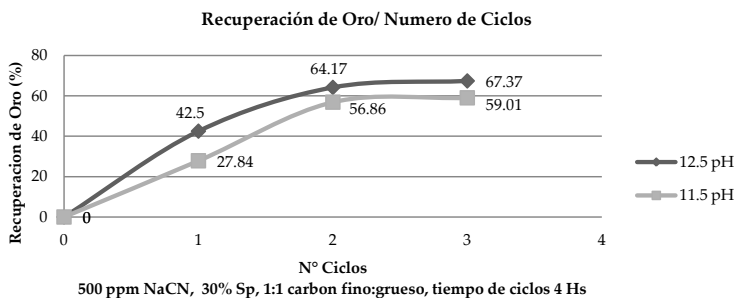


Figura 2. Efecto del pH en el proceso de transferencia de Oro.

### Relación sólido: líquido versus recuperación total

Las pruebas muestran que durante un ciclo de 4 horas, a medida que aumenta la relación de sólidos líquidos, la cinética de reacción es más lenta. Sin embargo, para realizar un segundo y tercer ciclo de transferencia de oro desde carbón fino residual a carbón grueso nuevo, se verifica el efecto opuesto.

### Consumo de cianuro durante el proceso de transferencia

La concentración de cianuro de sodio libre en el eluato y el pH natural se controló con y sin carbón activado. Sin carbón activado, el nivel de cianuro de sodio se mantuvo casi constante durante la agitación. La introducción de carbón fino cargado en la transferencia condujo a la disminución de cianuro de sodio en la solución. Cuando el pH comenzó a disminuir, la concentración de transferencia de oro presentó un comportamiento similar. Se determinó que en el proceso de transferencia, el consumo de cianuro al final de un ciclo era la mitad del cianuro inicial en el medio de transferencia.

Para determinar la influencia de todas las variables estudiadas a través de Minitab® [4] para diseñar experimentos, procedemos a ingresar al software los resultados de las pruebas. En los resultados del diseño del experimento, que se han reflejado en la figura 3, vemos que el ciclo de tiempo de agitación para la transferencia de oro de carbón fino cargado a carbón activado grueso fresco tiene un efecto

muy significativo en comparación con la concentración de cianuro en la transferencia solución.

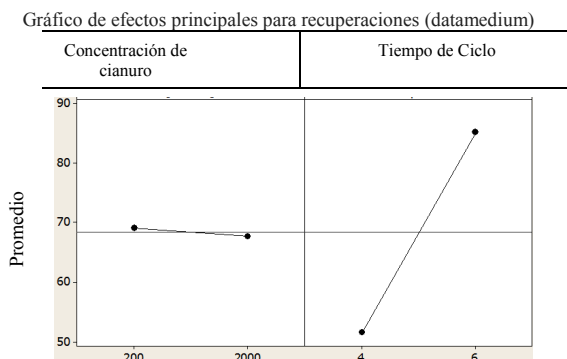


Figura 3. Comparación de la influencia de las variables concentración de cianuro y tiempo del ciclo en el proceso de transferencia.

### Análisis determinista de los resultados de los datos-Representación:

La transferencia de oro desde carbón fino residual cargado hacia carbón fresco, en los 53 ensayos, se realizó siguiendo el procedimiento descrito: a pH 11,5, 2000 ppm de NaCN, tres ciclos de transferencia de 6 horas cada uno. Con un nivel de confianza del 90% y un error del 9% se determinó que, en promedio, el 97% del oro se transfiere del carbón fino residual cargado hacia carbón fresco. Los cálculos de los mismos se muestran en la figura 4. Antes del inicio de cada nuevo ciclo de transferencia, es necesario ajustar el pH y la concentración de cianuro en la solución de transferencia.

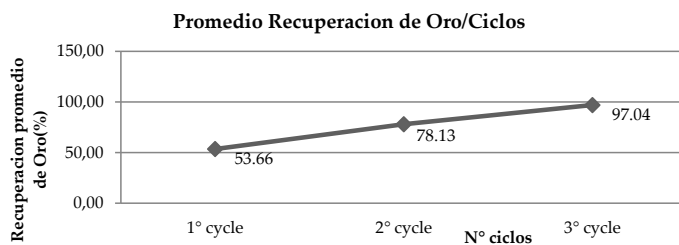


Figura 4. Recuperación promedio en cada ciclo de transferencia de oro



Tabla 2. Estadísticos de la recuperación de oro (%) en diferentes ciclos

	<b>Mínimo</b>	<b>Q1</b>	<b>Media</b>	<b>Q2</b>	<b>Máximo</b>
<b>1º ciclo</b>	23,38	41,64	55,05	64,16	82,11
<b>2º ciclo</b>	10,43	17,55	22,40	30,17	47,56
<b>3º ciclo</b>	0,75	7,87	14,47	23,05	49,84

## CONCLUSIONES

- Se estudió el efecto de diferentes variables en la transferencia de oro desde el carbono fino residual al carbono grueso fresco, obteniendo como variables óptimas: Concentración de 2.000 ppm de cianuro, pH 11,5 y tiempo de ciclo de 6 horas, requiriendo cianuro añadido al comenzar un nuevo ciclo de un 50% del cianuro contenido al comenzar el ciclo anterior.
- Se determinó que en el proceso de transferencia el consumo de cianuro al final de un ciclo era la mitad del cianuro inicial en el medio de transferencia.
- Se realizó la transferencia de oro del carbón grueso a fino a niveles fijos de 2.000 ppm de NaCN y pH 11,5.
- Se determinó que durante tres ciclos, de 6 horas cada ciclo, se produce una transferencia de oro del 97% en carbón fino con un nivel de confianza del 90% y un error del 9%.

## REFERENCIAS

1. Eric M. Hill y HsingKuang Lin. Método de recuperación de oro del residuo de carbono fino de un proceso de recuperación de oro de carbono grueso (2001).
2. J.S.J. Van Deventer. Factores que afectan la elución del cianuro de oro del carbón activado, (1994).
3. Esteban M. Domic M. Hidrometalurgia: Fundamentos, procesos y aplicaciones, (Agosto 2001).
4. Minitab® 15, Statitical Software. www.minitab.com