

Elec8. Estudio electroquímico de la influencia del cobre en la recuperación de plata sobre un sustratos de VC, a partir de soluciones de cianuro”

Verónica García Hernández*, Víctor E. Reyes Cruz, María Aurora Veloz Rodríguez

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigación de Materiales y Metalurgia,.

Carretera Pachuca –Tulancingo KM 4.5 Pachuca Hidalgo

vreyes@uaeh.reduaeh.mx

La explotación de minerales metálicos en México es una de las actividades que se ha llevado a cabo desde la época pre-colonial, es por ello que la mayoría de los depósitos minerales ricos en oro y plata han sido agotados. Actualmente, la industria hidrometalúrgica del país se enfrenta a la recuperación de metales preciosos a partir de yacimientos con muy bajos contenidos de oro y plata y altos contenidos de cobre, lo que provoca la presencia de cobre en el producto final, reduciendo así el valor de los metales preciosos recuperados. En este trabajo se presenta el estudio de especiación química y voltamperométrico del depósito selectivo de plata, a partir de 2 soluciones que simulan las condiciones de lixiviaciones con cianuro y altos contenidos de cobre sobre un electrodo de carbón vítreo. Los estudios voltamperométricos muestran que los altos contenidos de cobre juegan un papel importante para determinar el intervalo de potencial donde se lleva a cabo el depósito selectivo de plata proveniente de lixiviaciones de cianuro con bajos contenidos de plata

1.- Introducción.

Con respecto al depósito de oro y plata en medios cianurados, se han realizado varios trabajos [1-5] en los cuales se estudia cómo se realiza el depósito de oro ó plata en concentraciones altas (del orden de 21000 ppm) de estos metales sobre sustratos de Au, Ag y Pt; estos trabajos incluyen el estudio de las especies predominantes de Au(I) ó Ag(I) en solución, así como los procesos que se presentan al reducir y oxidar estas especies. Sin embargo, en la industria hidrometalúrgica del país los minerales a partir de los cuales se obtienen la mayoría de los metales preciosos son cada vez más pobres (concentraciones de oro y plata en el orden de 1-5 ppm), por lo que las soluciones resultantes de la lixiviación de estos minerales contiene altas concentraciones de iones metálicos como el cobre y bajos valores de oro y plata. Este echo ha generado que la industria hidrometalúrgica se preocupe en dar respuesta a la recuperación selectiva de oro y plata a partir de este tipo de soluciones. El depósito de Au(I) y Ag(I) a concentraciones diluidas en soluciones lixiviantes cianuradas, en el intervalo de concentraciones de 11-30 ppm, ha sido recientemente abordada [6-8]. Asimismo, la recuperación electroquímica de Au(I) ó Ag(I) con altos contenidos de Cu(I) presentes en una misma solución cianurada ha recibido poca atención, ya que se esperaría que el metal con la concentración más alta es el que debería depositarse primero, influyendo en la recuperación selectiva del oro ó la plata.

En el trabajo que antecede a esta investigación [9,10,11], se estableció un *estudio electroquímico sistemático* que permite conocer el intervalo de potencial donde se lleva acabo el depósito selectivo de plata a partir de soluciones preparadas en el laboratorio similares a soluciones de lixiviación industrial que contiene bajos valores de metales preciosos (del orden de 1 a 5 ppm) y alto contenido de cobre (las cuales de encuentran se en cantidades de hasta 100 veces más que los metales preciosos) sobre un electrodo de carbón vítreo. Usando esta metodología, en esta investigación se aborda la problemática del depósito selectivo de plata sobre un electrodo de carbón vítreo (VC, por sus siglas en inglés), mediante un estudio fundamental de especiación química y voltamperométrico de los procesos involucrados en la obtención electroquímica de plata, a partir de 2 soluciones que simulan las condiciones de lixiviación industrial . La finalidad de este estudio tiene como propósito mostrar el papel que juega el alto contenido de cobre en la determinación del intervalo de potencial donde se lleva a cabo el depósito selectivo de plata.

2.- Condiciones experimentales

El estudio voltamperométrico, se llevó a cabo en una celda de vidrio Pyrex de 100 ml de capacidad con un sistema de 3 electodos (trabajo, auxiliar y referencia) y entrada de nitrógeno. El electrodo de referencia que se utilizó fue un electrodo saturado de calomel (SCE, al cual están referidos los potenciales que aparecen en este trabajo) un electrodo de trabajo de Carbón Vítreo (área geométrica de 0.07 cm^2 y un electrodo auxiliar de grafito. La superficie del electrodo fue pulida a espejo con polvo de alúmina (tamaño de partícula 0.3μ); posteriormente el electrodo se enjuagó con agua, y se sometió a una vibración ultrasónica para eliminar las trazas de alúmina y grasas, para finalmente enjuagarse con agua desionizada. El electrodo de VC se pule antes de cada estudio voltamperométrico para asegurar una superficie reproducible.

Las soluciones utilizadas que simulan las condiciones de lixiviación industrial para el estudio voltamperométrico de este trabajo fueron:

Tabla 1. Soluciones de laboratorio.

Matriz	Soluciones	[] de solución en M(mol/l)
(a) 450 ppm NaCN	1. NaCN	0.0173M
	2. KAg(CN) ₂	6.12×10^{-6} M
	3. CuCN	9.27×10^{-3} M
	4. KAg(CN) ₂ + CuCN+ NaCN	6.12×10^{-6} M + 9.27×10^{-3} M + 0.0173M
(b) 900 ppm NaCN	5. NaCN	0.035M
	6. KAg(CN) ₂	4.87×10^{-4} M
	7. CuCN	7.96×10^{-4} M
	8. KAg(CN) ₂ + CuCN+ NaCN	4.87×10^{-4} M + 7.96×10^{-4} M + 0.035M

Las soluciones se prepararon a partir de agua desionizada de $18\text{M}\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ y se utilizaron reactivos de grado analítico. El pH se mantuvo constante en 10 y las soluciones fueron desoxigenadas con nitrógeno durante 20 min. antes de realizar experimentos, posteriormente el flujo de N₂ se mantuvo sobre la solución.

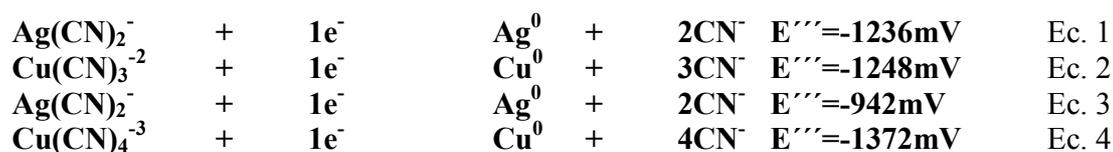
En la realización de los estudios electroquímicos se utilizó un potenciostato-galvanostato de la marca AUTOLAB, modelo W/PGSTAT30. Las técnicas utilizadas en el W/PGSTAT30 se manejan a través del software de la misma compañía.

3.- Resultados y discusión

3.1 Estudio de especiación química.

Se realizó el estudio de especiación química con el fin de establecer las especies electroactivas de Ag(I) y Cu(I) presentes en los dos baño que simulan las condiciones lixiviantes industriales con cianuro. Dicho estudio se realizó utilizando los datos de la literatura [1,12] de las especies solubles e insolubles de Ag(I) y Cu(I), considerando la composición de: **(a)**: $\text{pCN}' = -\log[\text{CN}'] = 1.76$, $\text{pAg}' = -\log[\text{Ag}'] = 5.2$, y $\text{pCu}' = -\log[\text{Cu}'] = 2.03$ y **(b)**: $\text{pCN}' = -\log[\text{CN}'] = 1.46$, $\text{pAg}' = -\log[\text{Ag}'] = 3.1$, y $\text{pCu}' = -\log[\text{Cu}'] = 3.01$; de acuerdo con la metodología propuesta por A. Rojas y colaboradores [11]

Los potenciales y las reacciones termodinámicas asociadas a los depósitos de Ag(I)/Ag(0) y Cu(I)/Cu(0) a pH=10 de la matriz**(a)** y **(b)** son:



Las ecuaciones 1,2,3 y 4 muestran la posibilidad termodinámica de depositar selectivamente la plata, al tener que el potencial del par redox Cu(I)/Cu(0) se presenta a potenciales más negativos con respecto al potencial del par redox Ag(I)/Ag(0). Sin embargo, las condiciones experimentales de la solución que contiene 500 ppm de cobre y 0.7 ppm de Ag, presenta una diferencia del potencial condicional E''' de estos metales que es más pequeña (12 mV) a la requerida teóricamente (180mV) para el depósito selectivo de dos metales[13], dando lugar a la formación de un codepósito.

El codepósito de metales con susceptibilidad de formar aleaciones (como el caso de plata y cobre) se lleva a cabo a potenciales muy diferentes de los potenciales predichos por la ley de Nernst. En este caso, durante el codepósito de dos metales, la formación de una aleación es posible detectarla particularmente por la modificación del potencial redox del metal menos noble que forma la aleación con respecto al potencial de ese sistema sin formar aleación. Desafortunadamente los desplazamientos de los potenciales redox tampoco son fáciles de predecirlos teóricamente, por lo que es necesario llevar a cabo un estudio electroquímico de los procesos de reducción-oxidación de soluciones que contienen los iones metálicos por separado, así como la combinación entre ellos.

3.2 Estudio voltamperométrico

La figura I y II muestra la comparación voltamperométrica de las soluciones que simulan una lixiviación cianurada de a) 450ppm CN y b) 900 ppm de CN que contiene: cianuro libre de iones metálicos (curvas 1 y 5), con Ag(I) (curvas 2 y 6), con Cu(I) (curvas 3 y 7) y con Cu(I)y Ag(I) (curvas 4 y 8) en el intervalo de potencial de 500 mV a -1800 mV.

En la figura I curva 1, se observa que la respuesta voltamperométrica de la solución libre de iones Ag^+ sobre electrodo de VC no presenta picos de reducción ni de oxidación, que puedan ser debidos a la reducción y oxidación del medio así como los procesos de oxidación y reducción del sustrato. Por otra parte, en la curva 2 de la figura I, no se observa un proceso de reducción y oxidación de la plata, lo cual se atribuye a la baja concentración de plata presente en la solución. En la solución que contiene cobre (curva 3) se aprecia un proceso de reducción en el barrido directo en el intervalo de potencial de -860mV a -1560mV (i) y en barrido inverso dos proceso de oxidación un en el intervalo -687mV a -230mV (ii) y otro en 140mv a 340 mv(iii). Al invertir nuevamente el barrido se observa otro proceso de reducción en el intervalo 260 mV a 90 mV (iv). Los procesos observados son atribuidos a la reducción y oxidación del cobre. En la solución que contiene cobre y plata curva 4, se observan dos procesos de reducción en el barrido directo uno de -680 mV a -950 mV (v) y otro en -1090 mV a -1520 mV (vi), los cuales pueden ser atribuidos a la reducción de Ag(I) y Cu(I) respectivamente. En el barrido inverso se observan dos proceso de oxidación uno en -720 mV a -240 mV (vii) y otro en 200 mV a 400 mV(viii) que pueden atribuirse a un codepósito de Cu-Ag como se ha reportado en la literatura[1,14,15] y a la oxidación de una especie de cobre respectivamente. Por otra parte, al igual que en la solución que contiene cobre al invertir nuevamente el potencial se observa un proceso de reducción de 300 mV a 59 mV (ix) atribuido a una especie reducida de cobre.

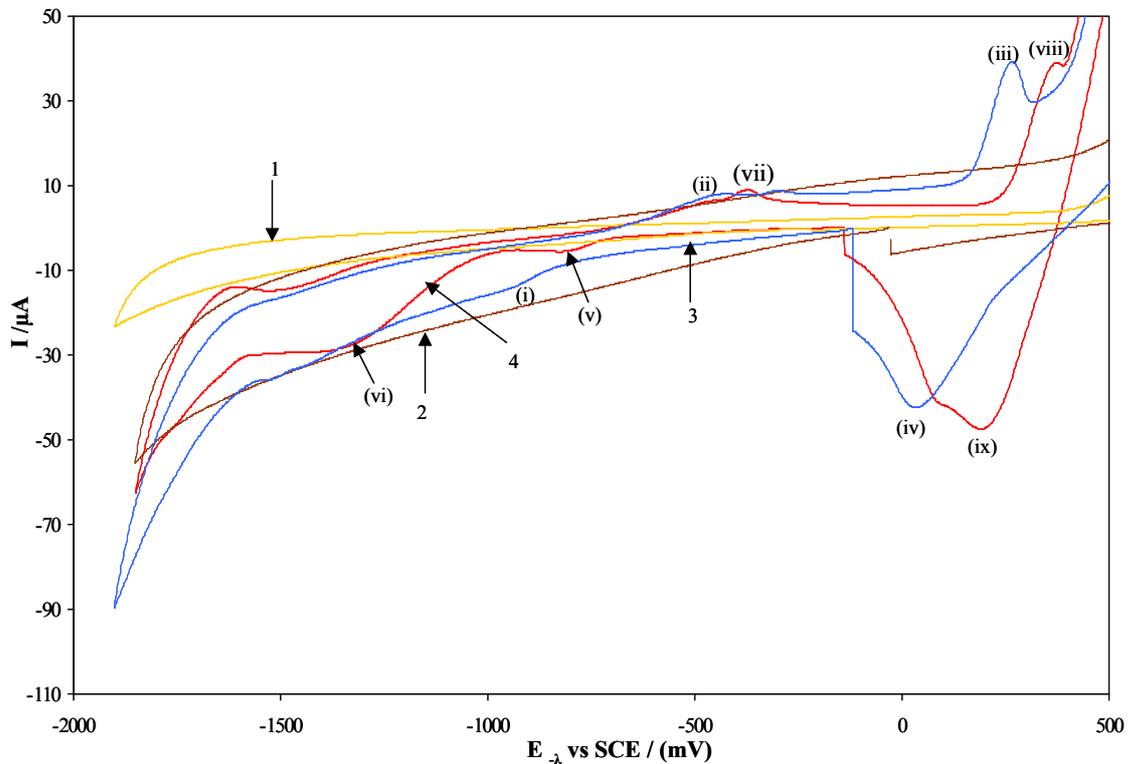


Figura I. Vista parcial de voltamperogramas cíclicos típicos obtenidos modificando el potencial de inversión en el barrido de potencia negativa ($E_{-\lambda}$), indicados en la figura, obtenidos sobre un electrodo de VC (0.07cm^2) a 25mVs^{-1} para soluciones cianuradas 0.0173M CN^- (curva 1) a pH 10 que contiene: curva 2) $6.12 \times 10^{-6}\text{ M Ag(I)}$, curva 3) de $9.27 \times 10^{-3}\text{ M Cu(I)}$, curva 4) $6.12 \times 10^{-6}\text{ M Ag(I)}$ y $9.27 \times 10^{-3}\text{ M Cu(I)}$.

Es importante comentar que Reyes y colaboradores observaron que la presencia de Cu(I) y Ag(I) modifican la cantidad de especies adsorbidas de cianuro que se tiene en la superficie de VC [11], lo cual a su vez cambia el intervalo de potencial donde se están llevando a cabo la reducción de estos iones metálicos. Es por ello que con el fin de identificar el papel que juega la presencia de cobre en el depósito selectivo de plata se emplea una solución que también simula las condiciones de concentración de una lixiviación industrial, en donde la concentración de Ag(I) es de un orden de magnitud mayor mientras que la concentración del Cu(I) es de un orden de magnitud menor (matriz b) con respecto a la solución con una matriz de cianuros de 450ppm.

Al igual que en la figura I curva 1, en la figura II en su curva 5 no se observan procesos de oxidación y reducción debidos a la reducción y oxidación del medio. En la curva 6 de la figura II se aprecian un proceso de reducción en el intervalo de potencial -600 mV a -1060 mV^* (i) y en el barrido inverso un proceso de oxidación en el intervalo de potencial -670 mV a -167 mV (ii); los cuales son atribuido al depósito y a la disolución de la plata. En la solución que contiene Cu(I) en el intervalo de potencial estudiado no se observan procesos de oxidación y reducción de este metal curva 7. Este comportamiento se atribuye a la baja concentración de cobre presente en la solución y a que las corrientes capacitivas de medio no permiten observar

estos proceso [11]. Al tener la presencia de Cu(I) y Ag(I) en la solución se observa un proceso de reducción en el intervalo de potencial -1220 mV a -1500 mV (iii) y un proceso de oxidación en el intervalo de potencial -900 mV a -170 mV(iv), curva 8. Los procesos observados pueden ser atribuidos nuevamente a la reducción y oxidación de plata, dada la concentración de está en la solución. Sin embargo, el desplazamiento de potencial a valores más negativos del pico de oxidación podría indicar la disolución de un codeposito de Cu-Ag formado en el barrido directo.

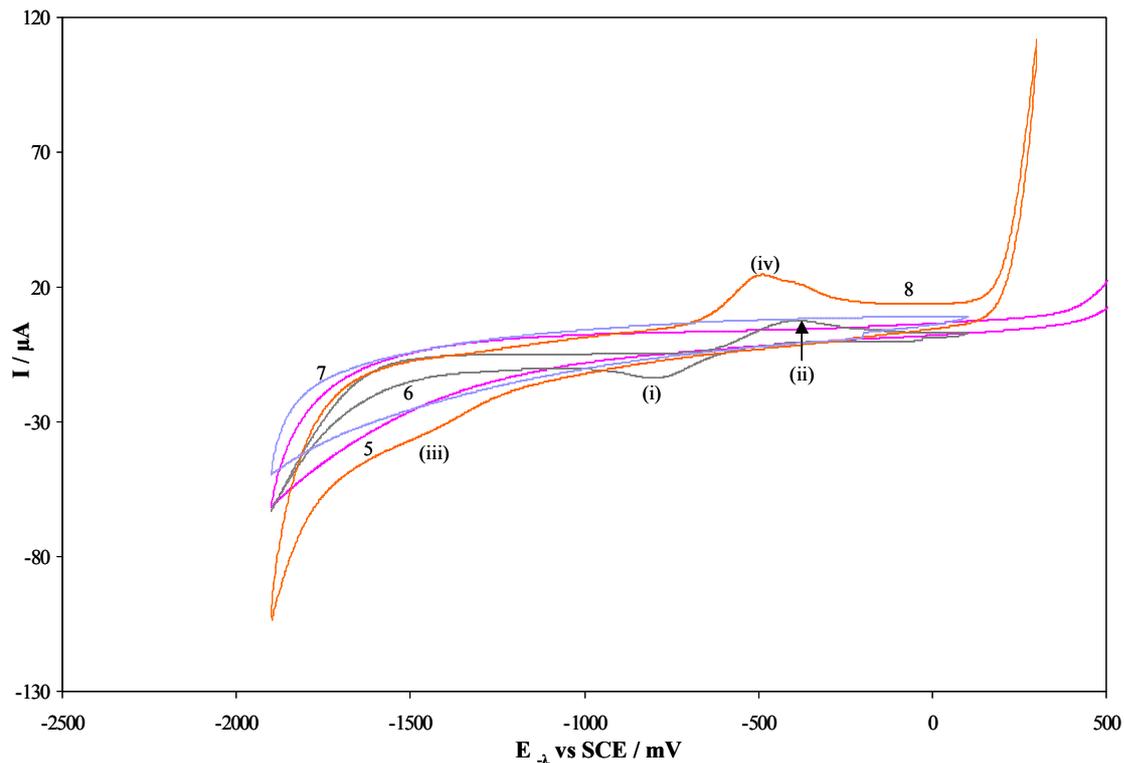


Figura II. Vista parcial de voltamperogramas cíclicos típicos obtenidos modificando el potencial de inversión en el barrido de potencial negativo ($E_{-\lambda}$), indicados en la figura, obtenidos sobre un electrodo de VC (0.07cm^2) a 25mVs^{-1} para soluciones cianuradas 0.035M C (curva 5) a pH 10, $4.87 \times 10^{-4} \text{ M Ag(I)}$ curva 6; $7.96 \times 10^{-4} \text{ M Cu(I)}$ curva 7 y $4.87 \times 10^{-4} \text{ M Ag(I)}$ con $7.96 \times 10^{-4} \text{ M Cu(I)}$, curva 8.

Los estudios voltamperométricos realizados nos indican que la presencia de cobre en alta o en bajo concentración juegan un papel importante en el depósito selectivo de Ag(I). Con el fin de identificar los intervalos de potencial donde se lleva a cabo el depósito selectivo de Ag(I) se realizaron estudios voltamperométricos de potencial de inversión de reducción y se trazaron curvas Q_a vs $E_{-\lambda}$.

3.3 Estudio de Q_a vs E-I.

La figura III muestra la carga asociada a los picos de oxidación de plata (Q_a), para el sistema de la solución cianurada: de Ag(I) con Cu(I) (curva a); de la solución industrial que antecede a este trabajo [11] que tiene concentraciones del mismo orden magnitud de Ag(I) y

Cu(I) (curva b). Mientras que la figura IV muestra la carga asociada a los picos de oxidación de plata (Q_a), para los sistemas en ausencia (curva c) y presencia de Cu(I) (curva d).

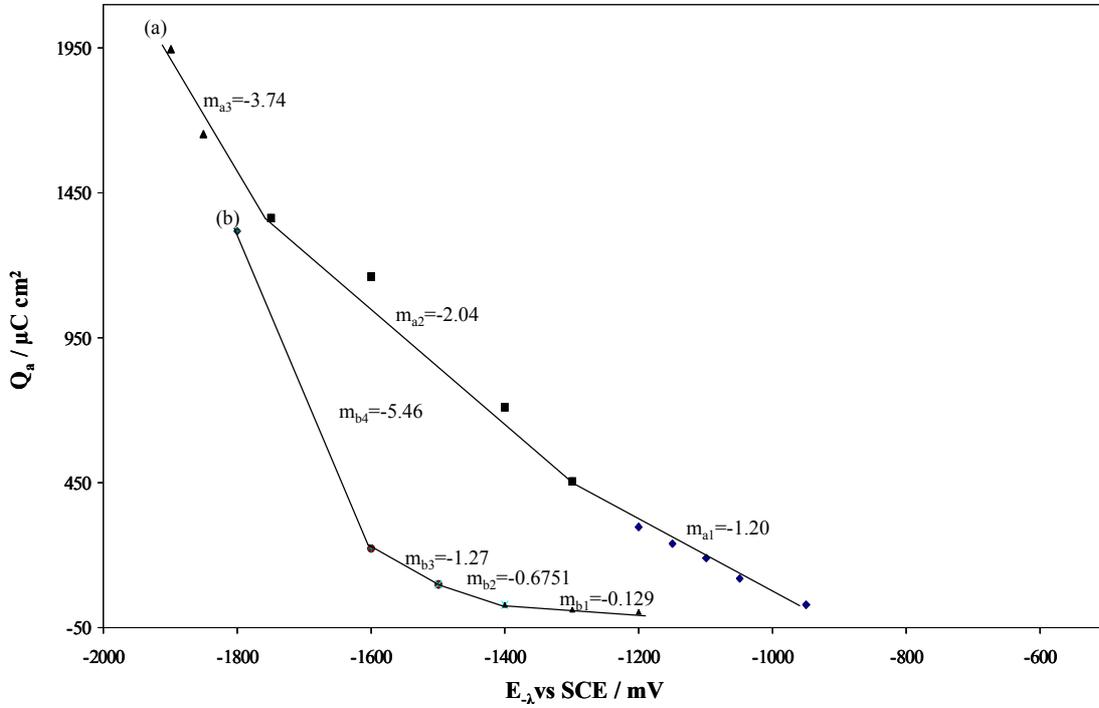


Figura III. Variación de la carga asociada a los picos de disolución (Q_a) en función del potencial de inversión negativo (E_λ), de los voltamperogramas obtenidos sobre un electrodo de VC (0.07 cm^2), 25 mV s^{-1} , a partir de una solución a pH 10 que contiene: a) 0.0173 M de CN^- ; $6.12 \times 10^{-6} \text{ M}$ Ag(I) y $9.27 \times 10^{-3} \text{ M}$ Cu(I) . b) 0.025 M de CN^- ; $5 \times 10^{-6} \text{ M}$ Au(I) ; $3 \times 10^{-5} \text{ M}$ Ag(I) y $8 \times 10^{-3} \text{ M}$ Cu(I) .

En la figura III curva a se observa que la correlación lineal de la gráfica Q_a vs E_λ en el intervalo de potenciales de inversión de -950 mV a -1300 mV presenta una pendiente similar ($m_{a1} = -1.2 \mu\text{Ccm}^{-2}\text{mV}^{-1}$), a la de la curva obtenida para la solución cianurada industrial que contiene plata y cobre ($m_{b3} = -1.27 \mu\text{Ccm}^{-2}\text{mV}^{-1}$), lo que indica que el depósito que se está llevando a cabo es el mismo, y puede ser atribuido al depósito de plata o al codepósito de Cu-Ag. Además en la curva a, se observa que hacia potenciales de inversión más negativos, las pendientes de la gráfica Q_a vs E_λ aumentan ($m_{a2} = -2.04 \mu\text{Ccm}^{-2}\text{mV}^{-1}$, $m_{a3} = -3.74 \mu\text{Ccm}^{-2}\text{mV}^{-1}$). Este comportamiento pueden ser atribuido al codepósito de Cu-Ag y al depósito masivo de cobre respectivamente. Por otra parte, no se observa una similitud en las pendientes a potenciales mas negativo (m_{b4} respecto a m_{a2} y m_{a3}) de ambas soluciones que indique que se esta depositando una misma especie de cobre. Este comportamiento puede estar relacionado a que la concentración de cianuros modifica la especie acomplejada de cobre.

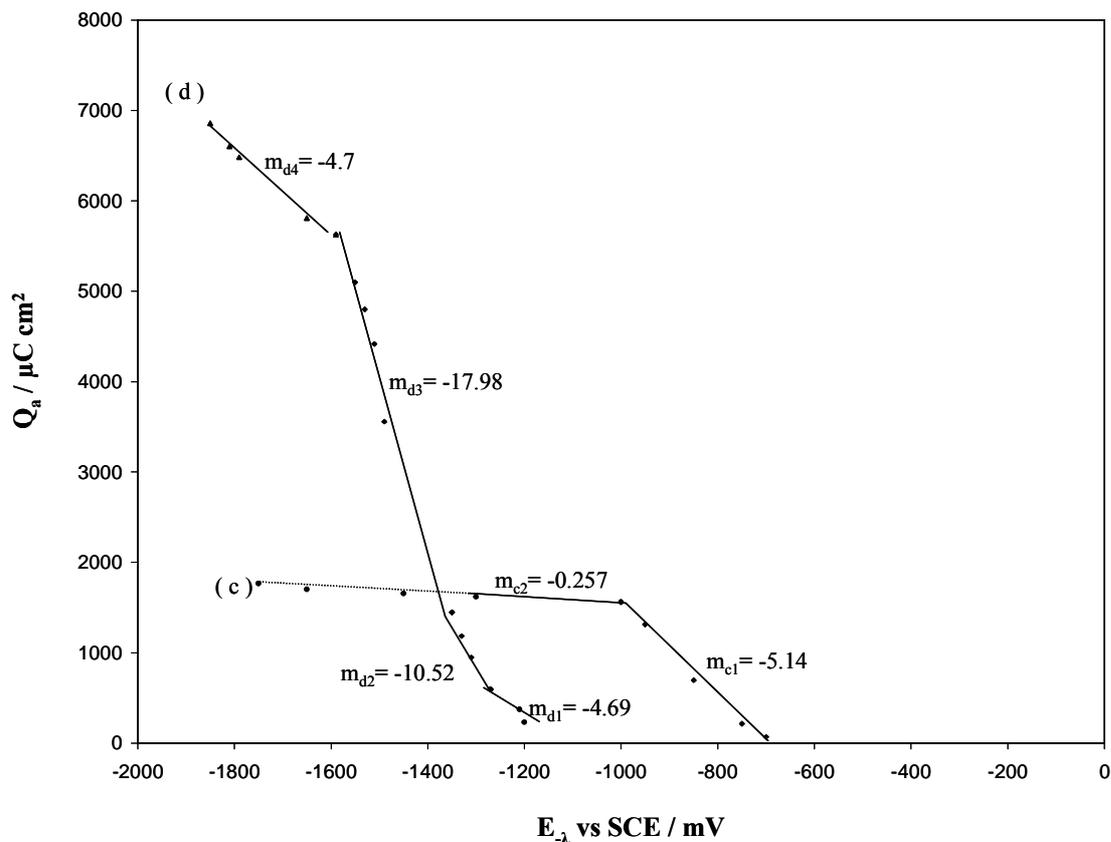


Figura IV.. Variación de la carga asociada a los picos de disolución (Q_a) en función del potencial de inversión negativo (E_{λ}), de los voltamperogramas obtenidos sobre un electrodo de VC (0.07 cm^2) a 25 mV s^{-1} , a partir de una solución 0.035 M CN^- a pH 10 que contiene: c) $4.87 \times 10^{-4} \text{ M Ag(I)}$ y d) $4.87 \times 10^{-4} \text{ M Ag(I)}$ y $7.96 \times 10^{-4} \text{ M Cu(I)}$

En la figura IV curva c se observa que la correlación lineal de la gráfica Q_a vs E_{λ} de los primeros cinco potenciales de inversión presenta una pendiente similar ($m_{c1} = -5.14 \mu\text{Ccm}^{-2}\text{mV}^{-1}$) a la obtenida para una solución cianurada que contiene plata y cobre ($m_{d1} = -4.69 \mu\text{Ccm}^{-2}\text{mV}^{-1}$), lo que indica que el depósito que se está llevando a cabo es el mismo, que podría ser la plata sobre el CV. Además, se observa que hacia potenciales de inversión más negativos, la pendiente de la gráfica Q_a vs E_{λ} , para la solución que contiene plata únicamente decrece ($m_{c2} = -0.257 \mu\text{Ccm}^{-2}\text{mV}^{-1}$) debido a que la reducción simultánea del medio disminuye la eficiencia de la densidad de corriente hacia el depósito de plata. En la curva d, se observa que la presencia de Cu(I) en la solución, modifica el intervalo de potencial donde se lleva a cabo el depósito de Ag(I) sobre el VC desplazándolo a potenciales más negativo (-700 mV a -1200 mV). Por otra parte, a potencial de inversión mas negativos se observa un cambio en la pendiente ($m_{d2} = -10.52 \mu\text{Ccm}^{-2}\text{mV}^{-1}$), lo cual se atribuye a la presencia de una diferente fase de plata depositada en el VC o al codepósito de Cu-Ag. Además, en el intervalo de potenciales de inversión de -1370 mV a -1570 mV se observa un incremento en la pendiente ($m_{d3} = -17.98$) atribuidos a codepósito Cu-Ag o al depósito masivo de Cu. A potenciales más negativos de inversión se observa un decremento de la pendiente debido a la reducción del medio ($m_{d4} = -4.7$)

Es importante resaltar que la pendiente atribuida al depósito de una diferente fase de plata sobre el VC o al Codepósito Cu-Ag (m_{a1} y m_{d2}) para las solución cianuradas en estudio difieren un orden magnitud. Este comportamiento es atribuido a que se tiene una concentración de Ag(I) de 52 ppm en la solución a con respecto a la que tiene de 0.7 ppm Ag de la solución d, lo que podría indicar que el depósito se este llevando acabo es una diferente fase de plata sobre el CV. Con el fin de corroborar esta hipótesis se realizó una micro electrólisis de 20 min. de la solución cianurada que contiene 52 ppm de plata a un potencial de inversión de -1300 mV, que corresponde a un potencial donde se tendría sólo el depósito selectivo de plata .

3.4 Estudio de microanálisis del depósito de plata.

La figura V, muestra la comparación voltamperométrica de una solución cianurada que contiene: Ag(I), curva a y una solución con cianuro libre de iones metálicos en la cual se realizó la disolución anódica de la plata depositada en una microelectrólisis descrita en la sección anterior.

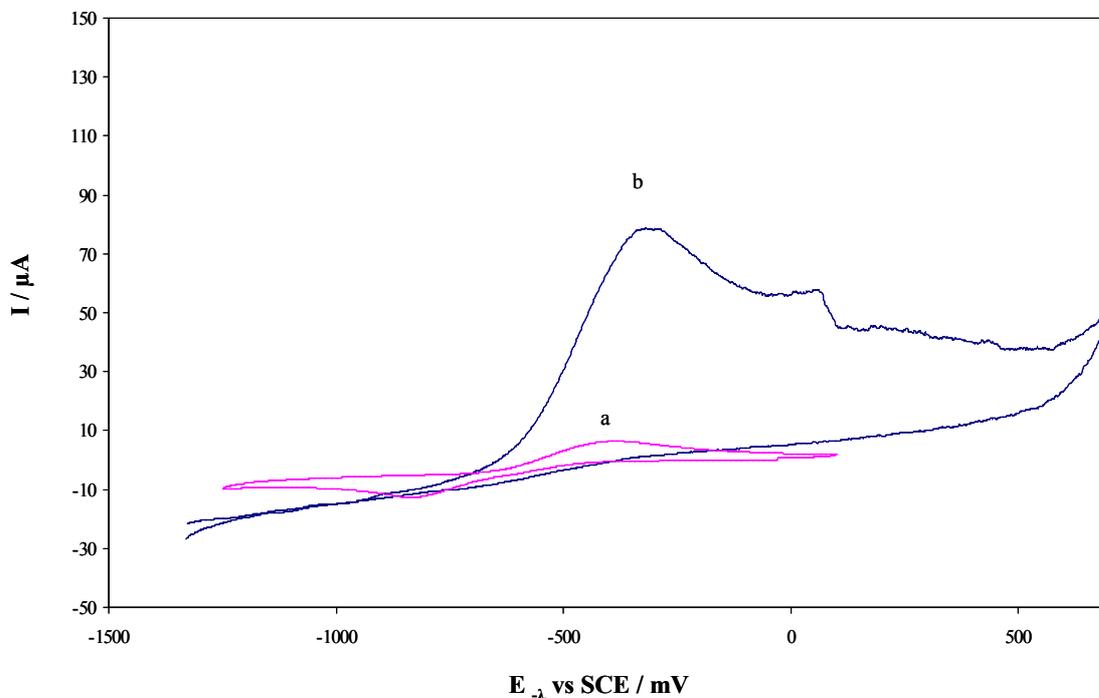


Figura IV. Vista parcial de voltamperogramas cíclicos típicos obtenidos modificando el potencial de inversión en el barrido de potencial negativo (E_{λ}), indicados en la figura, obtenidos sobre un electrodo de VC (0.07cm^2) a 25mVs^{-1} para soluciones cianuradas : a) $4.87 \times 10^{-4} \text{ M Ag(I)}$; b) disolución de plata.

En esta figura observamos que el pico de oxidación que se tiene en las dos curvas (a y b) se encuentran en el mismo intervalo de potencial (-150 mV a -627mV) indicando que se trata de la misma especie (en este caso la disolución de plata). En la figura IV se observa también una diferencia considerable en la corriente de oxidación debidas a la micro electrólisis realizada. Por otra parte, los resultados del estudio de potencial de inversión de la solución con una concentración de 50 ppm de Ag(I) mostraron que cuando se empieza a depositar el cobre la

forma del pico de oxidación del codepósito formado se ve desplazado a potenciales más negativo lo cual no se observa en el pico de oxidación de la curva b.

Los resultado de este trabajo indican que es posible realizar el depósito selectivo de Ag(I) a partir de soluciones con alto contenido de cobre y bajos valores de este metal en el intervalo de potencial de -900 mV a -1300 mV.

4. Conclusiones.

Del estudio fundamental realizado para depositar plata selectivamente en medios cianurados se tienen las siguientes conclusiones:

- ◆ Los resultados experimentales del este estudio voltamperométrico indicar que la presencia de altos contenidos Cu, así como la concentración de CN hace posible observa el intervalo de potencial donde se lleva a cabo el depósito selectivo de Ag (I), a pesar de tener bajos valores de este metal. Concordando con el estudio de especiación química
- ◆ La presencia de Cu(I) y Ag(I) modifican la cantidad de especies adsorbidas de cianuro que se tiene en la superficie de VC [11], lo cual a su vez cambia el intervalo de potencial donde se están llevado a cabo la reducción de estos iones metálicos.
- ◆ La metodología del análisis de la cargas anódicas (Qa) utilizada en este trabajo permitió obtener el intervalo de potencial donde se realiza el depósito selectivo de plata en un orden de magnitud menor (-1300 mV), al propuesto por Reyes y colaboradores [11].
- ◆ La comparación de la metodología del análisis de cargas de las soluciones preparadas de laboratorio y la solución industrial que antecede a este trabajo indicar que se tiene dos diferentes fase de plata depositadas sobre la superficie de CV.

5. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la SEP-PROMEP por el apoyo económico otorgado para realizar este trabajo.

6. Referencias

1. Mac Arthur, Journal Electrochemical Society, 119 (1972) 672.
2. Chrzanowski, Y.G. LI, A. Lasia, Journal of Applied Electrochemistry, 26 (1996) 385.
3. H. Sánchez, Journal Electrochemical Society, 143 (1996) 2799.
4. Nehl, F. H. Murphy, J. E. Atkinson, G. B., Journal of Mining Engineering. 46 (1994) 568
5. Bek, R. Yu. Rogozhnikov, N. A. Shuraeva, L. I., Journal of Russian journal of Electrochemistry. 32 (1996) 1337.
6. B. Waterman, F.A. Olson and T. N. Andersen in S. Srinivasan, R. Woods and P. E. Richardson Electrochemistry in mineral and Metal Processing I, PV 84-10, p11, Electrochem. Soc. Pennington (1984).
7. V. E. Reyes, M. T. Oropeza, I. González and C. Ponce de León, J. Appl. Electrochem., submitted December 2001
8. Stavart, C. Leroy and A. Van Lierde, Minerals Engineering 12 (1999) 545.

9. V. E. Reyes, M. T. Oropeza, I. González and Ponce de León, *Hidrometallurgy*, submitted November 2001.
10. V. E. Reyes, M. T. Oropeza, I. González and Ponce de León, *J. Appl. Electrochem.*, 32 (2002) 473.
11. V. E. Reyes, M. T. Oropeza, I. González and Ponce de León, *Hidrometallurgy* 65 (2002) 187-203
12. Ringbom, A., 1963. *Complexation in Analytical Chemistry*, Wiley- Interscience, New York.
13. D.W. Kirk, F.R. Foulkes and W.F. Graydon, "Gold Passivation in Aqueous AlkalineCyanide", *J. Electrochem. Soc.* 127 (1980) 1962.
14. A. J. Bard and L.R. Faulkner, J. Wiley & Sons (Eds.), *Electrochemical methods*, (1980) 380,229.
15. D.T. Mughogho and F.K: Crundwell, "Gold Dissolution in Dilute Cyanide Solutions" in R.Woods and P. E. Richardson (Eds.), *Electrochemistry in Mineral and Metal Processing IV*,*Electrochem. Soc. Pennington* (1996) p275.