

Lixiviación electroquímica de metales preciosos de algunos componentes provenientes de aparatos eléctricos y electrónicos

Alfredo Gómez Rodríguez¹, Víctor E. Reyes Cruz^{1*}, María Aurora Veloz Rodríguez¹.

¹*Centro de Investigación de Materiales y Metalurgia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca –Tulancingo KM 4.5 Pachuca Hidalgo*
e-mail alfredogrcj@yahoo.com.mx, * reyescruz16@yahoo.com y maveloz70@yahoo.com.mx

Resumen

El reciclado de los metales preciosos (MP) presentes en los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) de desecho, es una de las actividades que en las últimas 3 décadas ha tomado importancia debido a los problemas ambientales que generan y por el valor económico que representa la recuperación de Au y Ag. El proceso electroquímico de depósito selectivo de MP ha mostrado ser una alternativa viable para la recuperación de estos metales provenientes de soluciones lixiviantes. Sin embargo, antes de proponer la recuperación de Au y Ag, se requiere que estén en solución, lo cual se logra lixiviando los metales. En este trabajo se aborda esta problemática, mediante un estudio fundamental electroquímico a través de técnicas voltamperométricas y cronoamperométricas que permita conocer las condiciones energéticas en las cuales se lleva a cabo la lixiviación de Au y Ag con la menor lixiviación de cobre posible, sobre diferentes electrodos en soluciones de NaCN y HNO₃.

Palabras Clave: Metales precios, Lixiviación electroquímica, Electroodos compactados, NaCN, HNO₃



1. Introducción

En las últimas tres décadas, el uso de productos eléctricos y electrónicos en el ámbito doméstico e industrial tomó una gran aceleración. El advenimiento de la computadora personal o PC, Internet, las transmisiones de datos y las comunicaciones inalámbricas potenciaron la industria electrónica, dándole un impulso que ha traído como consecuencia la aparición de un nuevo tipo de residuo urbano e industrial, llamado "compubasura" de igual forma las tarjetas electrónicas, televisores y teléfonos celulares, monitores, equipos de comunicaciones, controles automáticos, equipos de terapia médica, todos serán alguna vez residuos [1].

El reciclado permite, previo tratamiento de los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) de desecho para devolver al ciclo económico materias primas (vidrio, polímeros, hierro, cobre, aluminio, zinc, metales preciosos, etc.), contribuyendo a la preservación de los recursos naturales no renovables y reduciendo el consumo de energía necesaria para la extracción de los mismos, mediante la recuperación de materiales contenidos en los equipos de desecho. En la Unión Europea se estima que los 6 millones de toneladas de AEE de desecho que se producen anualmente contienen más de 3.5 millones de toneladas de material metálico. Su reciclado contribuiría, según cálculos de la Unión Europea, a ahorrar alrededor de 120 millones de Gigajulios al año, lo que equivale a 2.8 millones de toneladas de petróleo, necesarios para generar dicha energía. El uso de los materiales reciclados permitiría ahorrar, como mínimo el 60% de la energía necesaria para producir los materiales vírgenes, equivalentes a los reciclados [1].

Los MP han sido los metales de mayor importancia económica, recuperados a partir de los AEE de desecho, debido, sobretodo, a su elevado valor y su gran campo de aplicación en las nuevas tecnologías. El reciclaje de los MP tiene un impacto significativo en las cantidades que deben ser importadas cada año. Aproximadamente el 25% de la demanda total de MP de todos los usos industriales se encuentra en material reciclado [2]. Los MP, son esenciales en aplicaciones electrónicas y eléctricas a causa de su baja resistencia de contacto y de su buena resistencia a la corrosión y a la oxidación. Esto, junto a su alto valor en el mercado, los hace susceptibles de ser recuperados a partir de los residuos que los contienen y es por este motivo por el que se han desarrollado procesos para su recuperación [3].

El principal problema que se presenta en la recuperación de Au y Ag presentes en los AEE de desecho, además de las bajas concentraciones de éstos, es la presencia de altos contenidos de cobre, lo cual incrementa los costos de separación. Por lo tanto, es indispensable



elegir adecuadamente las condiciones del proceso para eliminar en lo posible la interferencia de dicho metal [3].

El proceso de electrodeposición selectiva de MP ha mostrado ser una alternativa viable para la recuperación de estos metales provenientes de soluciones lixiviantes [4-7]. Sin embargo, antes de proponer la recuperación de Au y Ag, se requiere que estén en solución, es por ello, que en este trabajo se desarrolla un estudio electroquímico sistemático que permita conocer las condiciones energéticas en las cuales se lleva a cabo la lixiviación de Au y Ag disolviendo la menor cantidad de cobre posible, en soluciones NaCN y HNO₃. Las técnicas utilizadas en este trabajo fueron la voltamperométrica cíclica y la cronoamperométrica.

2. Condiciones experimentales.

Para el estudio voltamperométrico y cronoamperométrico, se utiliza una celda típica de 3 electrodos, electrodo de trabajo, auxiliar y referencia. Como electrodo auxiliar se utiliza grafito y como electrodo de referencia el de calomel (Hg/HgCl saturado con KCl), se utilizaron tres tipos de electrodos de trabajo: láminas, electrodos de pasta de carbón (CPE) y compactados.

Los electrodos de laminas fueron de: Cu, Zn, Al, Fe, Ni, Sn, Pb, Au y Ag con una área geométrica de 6.37 cm², donde el área expuesta en el proceso electroquímico fue de 1.16 cm². Los electrodos de pasta de carbón fueron de: CPE, CPE-Cu, CPE-Zn, CPE-Al, CPE-Fe, CPE-Ni, CPE-Sn, CPE-Pb, CPE-Ag, CPE-Sintético y CPE-Material industrial metálico con un área geométrica expuesta de 0.03 cm². Los electrodos compactado fueron: CSCG (compactado sintético con grafito), CSSG (compactado sintético sin grafito), CICG (compactado industrial con grafito) y CISG (compactado industrial sin grafito). El área expuesta en el proceso electroquímico para los electrodos compactados fue de CICG (0.91 cm²), CISG (0.78 cm²), CSCG (0.78 cm²) y CSSG (0.39 cm²).

La superficie de los electrodos de lámina fueron pulidas a espejo con polvo de alúmina (tamaño de partícula 0.3µm); enjuagada con agua desionizada, la superficie de los CPE fue renovada quitándole una parte con el contacto y se desplazó la pasta con el émbolo, posteriormente fue pulida antes de cada estudio electroquímico y la superficie de los electrodos compactados fue pulida y enjuagada con agua desionizada antes de cada estudio electroquímico.

Este tratamiento en los diferentes electrodos se realizó para asegurar una superficie nueva cada vez y de esta manera obtener reproducibilidad en los resultados.

Las soluciones utilizadas para el estudio voltamperométrico y cronoamperométrico de este trabajo son cianuro de sodio (NaCN, concentración 0.2 molar) y ácido nítrico (HNO₃, 10% en volumen). Estos medios son elegidos por que el primero es selectivo a los MP y el medio de HNO₃ tiene una diferencia de potencial mayor entre metales, que indica una alta selectividad de los procesos de lixiviación de los MP, comparada con los que están con una esfera de solvatación como los complejos de iones metálicos con cianuro, tiourea, etc. Las soluciones se prepararon a partir de agua desionizada, y se utilizaron reactivos grado analítico. El pH para la solución de NaCN fue de 11 y para la solución de HNO₃ el pH fue de 1.

En la realización de los estudios electroquímicos se utilizó un potenciostato-galvanostato de la marca PAR, modelo 263A. Las técnicas utilizadas se manejan a través del software PowerSuit 2.35.2 proporcionado por la misma compañía.

3. Resultados y discusión

3.1 Estudio voltamperométrico en laminas

El intervalo de potencial y las densidades de corriente máxima de lixiviación de los electrodos de láminas Cu, Al, Zn, Ni, Fe, Ag y Pb para los medios de NaCN y HNO₃ obtenidos del estudio voltamperométrico se resumen en las tablas 1 y 2 respectivamente. Las voltamperometrías cíclicas se iniciaron en un potencial a circuito abierto hacia el sentido anódico con una velocidad de barrido de 25 mV S⁻¹ en soluciones con pH de 1 y 11.

Tabla 1. Intervalos de potencial y densidad de corriente máxima de lixiviación para los electrodos de láminas en medio de NaCN.

Sustrato	E / mV	j / A·cm ⁻² máxima
Cu	-1900 a 1000	9x10 ⁻³
Al	-1630 a 1000	1x10 ⁻³
Zn	-1480 a 700	9x10 ⁻³
Ni	-850 a 500	4x10 ⁻³
Fe	-800 a -250	4x10 ⁻⁴
Ag	-760 a 800	2x10 ⁻⁵
Pb	-670 a 2000	4.5x10 ⁻²

La tabla 1 se observa el orden de lixiviación de los electrodos de láminas en medio de NaCN; apreciándose que el penúltimo electrodo de trabajo que se lixivía es el de Ag. También, se observa que las densidades de corriente máximas de lixiviación son mayores en los electrodos de Pb, Cu y Zn ($4.5 \times 10^{-2} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$, $9 \times 10^{-3} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$, $9 \times 10^{-3} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$) lo cual indica que se tiene una mayor disolución de estos metales en el medio de NaCN.

Tabla 2. Intervalos de potencial y densidad de corriente máxima de lixiviación para los electrodos de láminas en medio de HNO_3

Sustrato	E / mV	j / A cm^{-2} máxima
Zn	-1400 a 1000	7×10^{-1}
Fe	-1000 a 1500	2×10^{-1}
Pb	-900 a 1000	6.5×10^{-1}
Al	-750 a 1400	2.5×10^{-2}
Ni	-600 a 100	7×10^{-2}
Cu	-600 a -100	1.5×10^{-1}
Ag	-300 a 1000	3×10^{-1}

En la tabla 2 se aprecia que el orden de lixiviación de las laminas de los metales que están presentes en los AEE de desecho en el medio de HNO_3 es primeramente el electrodo Zn seguidos del Fe, Pb, Al, Ni, Cu y Ag. También, se aprecia que el último electrodo en lixiviar es el de Ag. El orden de la lixiviación de estos metales es muy parecido a los de la Fuerza Electromotriz (FEM), donde los metales menos nobles (Zn, Pb, Al) se lixivian antes que los más nobles (para este caso Ni, Cu y Ag). Por otra parte, se observa que las densidades de corriente máximas de lixiviación son mayores en los electrodos de Zn, Pb y Ag ($7 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$; $6.5 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ y $3 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$, respectivamente) lo cual indica que se tiene una mayor disolución de estos metales en el medio de HNO_3 . Asimismo, los valores de potencial están referidos con respecto al electrodo de referencia.

Los resultados de los estudios voltamperométrico de láminas muestran que no es posible realizar la lixiviación selectiva de metales preciosos ya que se tendrá la disolución de metales interferentes como es el caso del Cu, el cual en este tipo de desechos se encuentra en un 97%. Sin embargo se espera tener una menor interferencia de estos metales y una mayor recuperación de MP, realizando modificaciones en los electrodos de trabajo a lixiviar.

3.2 Estudio voltamperométrico en electrodos de pasta de carbón

El intervalo de potencial y la densidad de corriente máxima de lixiviación provenientes del estudio voltamperométrico de los electrodos de pasta de carbón en los medios de NaCN y HNO₃ se resume en las tablas 3 y 4 respectivamente.

Tabla 3. Intervalos de potencial y densidad de corriente máxima para los CPE en medio de NaCN.

Sustrato	E / mV	j / A cm ⁻² máxima
CPE-Zn	-1450 a 700	1.5x10 ⁻²
CPE-Ni	-1200 a 800	4x10 ⁻³
CPE-Cu	-1140 a 500	1.5x10 ⁻²
CPE-Sintético	-1100 a 800	6x10 ⁻⁴
CPE-Ag	-725 a 800	7.5x10 ⁻³
CPE-Pb	-650 a 700	1.5x10 ⁻²
CPE-Material industrial	-600 a 1500	2x10 ⁻⁴
CPE-Fe	-100 a 800	9x10 ⁻⁴

En la tabla 3 se observa que el orden de lixiviación de los CPE de los metales que están presentes en los desechos del reciclado de los AEE en el medio de NaCN es primeramente el electrodo CPE-Zn seguido de CPE-Ni, CPE-Cu, CPE-Sintético, CPE-Ag, CPE-Pb, CPE-Material industrial metálico y CPE-Fe. Por otra parte, se aprecia que las densidades de corriente máximas de lixiviación son mayores en los electrodos de CPE-Zn, CPE-Cu, CPE-Pb y CPE-Ag (1.5x10⁻² A·cm⁻², 1.5x10⁻² A·cm⁻², 1.5x10⁻² A·cm⁻² y 7.5x10⁻³ A·cm⁻²). También, es importante mencionar que la densidad de corriente que se obtiene en este tipo de electrodo es mayor a la observada en los electrodos de láminas; lo cual muestra que se tiene mayor lixiviación al tener la presencia de grafito en el electrodo.

En la tabla 4 se observa que el orden de lixiviación de los CPE de los metales que están presentes en los desecho de AEE en medio de HNO₃; primeramente el electrodo de CPE-Pb seguido de CPE-Zn, CPE-Fe, CPE-Ag, CPE-Ni, CPE-Cu, CPE-Material industrial metálico y CPE-Sintético. Además se observa que las densidades de corriente máximas de lixiviación son mayores en los electrodos de CPE-Ag, CPE-Pb y CPE-Cu (4x10⁻¹ A·cm⁻², 3x10⁻¹ A·cm⁻² y 3x10⁻¹

$A \cdot cm^{-2}$ respectivamente). Por otro lado, al comparar los CPE con el estudio de electrodos de laminas en medio de HNO_3 se tiene que la Ag es la última en lixivarse y el CPE-Ag se lixivía antes que el CPE-Ni, CPE-Cu, CPE-Material Industrial y CPE-Sintético.

Tabla 4 Intervalos de potencial y densidad de corriente máxima de lixiviación para los CPE en medio de HNO_3 .

Sustrato	E / mV	j / A cm ⁻² máxima
CPE-Pb	-900 a 1000	3×10^{-1}
CPE-Zn	-800 a 1000	4×10^{-2}
CPE-Fe	-750 a 1500	1.1×10^{-1}
CPE-Ag	-700 a 1200	4×10^{-1}
CPE-Ni	-500 a 1200	1.2×10^{-1}
CPE-Cu	-400 a 1000	3×10^{-1}
CPE-Material industrial	-400 a 100	1.2×10^{-1}
CPE-Sintético	-380 a 500	1.3×10^{-1}

Los resultados de los estudios de los CPE en los medios de NaCN y HNO_3 muestran que el grafito puede modificar considerablemente el potencial donde se lleva a cabo la lixiviación del Cu desplazándolo a potenciales más positivos respecto a otros metales; Favoreciendo la lixiviación del electrodo de Ag en el medio de HNO_3 . El conocer el potencial de lixiviación del Cu radica en que este metal tiene la mayor contribución en la lixiviación debido a la alta concentración de éste en los desechos provenientes del reciclado de aparatos eléctricos y electrónicos.

Es necesario mencionar que los electrodos de CPE son electrodos utilizados sólo en estudios electroquímicos fundamentales [8-9], en los cuales se utiliza un aceite hidrofóbico que permite tener una área controlada. Esta situación en condiciones industriales no es muy práctica, es por ello que en este trabajo se utilizan electrodos compactados mecánicamente con y sin grafito de material industrial metálico y sintético. El propósito de estos electrodos es determinar las condiciones energéticas donde se lleva a cabo la lixiviación de los metales preciosos Ag y Au con la menor concentración de cobre posible en las soluciones de NaCN y HNO_3 , así como la influencia que tiene el grafito en la lixiviación de metales presentes en los AEE de desecho.

3.3 Estudio voltamperométrico en compactados.

El intervalo de potencial y las densidades de corriente máxima de lixiviación de los electrodos CSCG y CSSG y de los CICG y CISG, en medio de NaCN y HNO₃ obtenidos del estudio voltamperométrico se resume en las tablas 5 y 6 respectivamente.

En la tabla 5 se observa que el orden de lixiviación es CSCG seguido CISC, CSSG y CICG. Además se aprecia que las densidades de corriente máximas de lixiviación de los electrodos CSCG y CISG en comparación al CSSG y CICG son menores ($1 \times 10^{-3} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ y $1 \times 10^{-2} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$; $2.4 \times 10^{-2} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ y $3 \times 10^{-2} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$, respectivamente) en el medio de NaCN.

Tabla 5. Intervalos de potencial y densidad de corriente máxima de lixiviación para los electrodos compactados en medio de NaCN.

Sustrato	E / mV	j / A·cm ⁻² máxima
CSCG	-1400 a 400	1×10^{-3}
CISG	-1140 a 800	2.4×10^{-2}
CSSG	-1000 a 1000	1×10^{-2}
CICG	-500 a 1000	3×10^{-2}

Tabla 6. Intervalos de potencial y densidad de corriente máxima de lixiviación para los electrodos compactados en medio de HNO₃.

Sustrato	E / mV	j / Acm ⁻²
CSCG	-400 a 800	3.5×10^{-1}
CSSG	-400 a 800	4.5×10^{-1}
CISG	-400 a 800	5×10^{-1}
CICG	-380 a 800	2.2×10^{-1}

En la tabla 6 se observa que los electrodos compactados en el medio de HNO₃ se lixivian en el mismo potencial de oxidación (-400 mV respectivamente), excepto por el CICG que se lixivía en el potencial de -380 mV. Este comportamiento muestra la importancia que tiene el medio electrolítico en la lixiviación de metales. Además se aprecia que las densidades de

corriente máximas de lixiviación en el CSSG en comparación al CSCG son mayores ($4.5 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ y $3.5 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ respectivamente). En el material industria se presenta el mismo comportamiento de tener mayores magnitudes de densidad de corriente en el electrodo sin grafito ($5 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ para el CISG y $2.2 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ para el CICG, respectivamente).

Los resultados del estudio de electrodos compactados muestran que la densidad de corriente que se obtiene en este tipo de electrodo es mayor a la observada en los CPE-Material industrial metálico y CPE-Sintético en los dos medios en estudio.

La comparación de las densidades de corrientes en los electrodos compactados en el medio de HNO_3 con respecto al medio de NaCN muestra que las magnitudes de corriente son mayores en 2 órdenes de magnitud (CSCG $3.5 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$, CSSG $4.5 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$, CISG $5 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ y CICG $2.2 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$, para el medio de HNO_3 y CSCG $1 \times 10^{-3} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$, CSSG $1 \times 10^{-2} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ CISG $2.4 \times 10^{-2} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ y CICG $3 \times 10^{-2} \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ para el medio de NaCN). Este comportamiento indica que se tiene una mayor lixiviación de metales presentes en los AEE de desecho en el medio de HNO_3 .

Es importante señalar que la diferencia en densidad de corriente entre el CICG y CISG en los dos medios es pequeña, por lo que se requiere seguir explorando las aportaciones del grafito en el estudio de lixiviación electroquímica con el material industrial metálico. Es por ello que a partir de los resultados de la voltamperometría se selecciona un potencial a aplicar al electrodo de trabajo que permita obtener las condiciones energéticas de la lixiviación electroquímica de los MP presentes en los AEE de desecho (E), para cada medio en estudio.

3.4 Estudio de macroelectrólisis a potencial controlado.

Las tablas 7 y 8 muestra los resultados obtenidos de los análisis por absorción atómica de los metales después de las macroelectrólisis llevadas a cabo en los electrodos compactados industriales en los medios de NaCN y de HNO_3 .

Tabla 7 contenidos metálicos obtenidos después de la imposición de un potencial constante de 800 mV sobre electrodos compactados industriales en medio de NaCN.

Metales	Contenidos	
	CISG / g A un t= 1200 s	CICG / g A un t = 3600 s
Cu	4.3×10^{-3}	4.1×10^{-3}
Fe	1.5×10^{-5}	2.6×10^{-5}
Ni	1.4×10^{-4}	0
Pb	1.7×10^{-4}	1.6×10^{-5}
Zn	4×10^{-5}	1.9×10^{-5}
Al	8.6×10^{-5}	4.5×10^{-5}
Au	4×10^{-6}	2.45×10^{-6}
Ag	3.6×10^{-5}	2.6×10^{-5}
Sn	1.5×10^{-4}	1.36×10^{-4}

En la tabla 7 se observa que el mejor electrodo para llevar a cabo la lixiviación de Ag y Au con la menor interferencia de Cu es el CISG en el medio de NaCN, ya que se tiene una mayor cantidad de lixiviación de los MP con menores tiempos de macroelectrólisis. Además muestran que el grafito si esta incrementando la densidad de corriente de la lixiviación de los metales presentes en los AEE de desecho. Sin embargo, el grafito no favorece la lixiviación de los MP con la menor interferencia de Cu.

Tabla 8. Contenidos metálicos después de la imposición de un potencial de 700 mV sobre electrodos compactados industriales durante un tiempo de electrolisis de 3600 s e en medio de HNO₃.

Metales	Contenidos / g	
	CISG	CICG
Cu	1.1×10^{-1}	1.21×10^{-1}
Fe	6.0×10^{-4}	1.63×10^{-4}
Ni	1.8×10^{-3}	3.27×10^{-5}
Pb	2.0×10^{-3}	2.26×10^{-4}
Zn	1.6×10^{-3}	6.60×10^{-4}
Al	1.25×10^{-4}	0
Au	3.35×10^{-6}	2.85×10^{-6}
Ag	3.95×10^{-6}	1.47×10^{-4}
Sn	1.56×10^{-4}	8.85×10^{-5}

En la tabla 8 se observa que la lixiviación del Au en electrodo de CISG es mayor con al electrodo CICG en el medio de HNO₃. También se aprecia que el contenido de Ag el electrodo CICG es mayor en comparación al electrodo CISG. Además se aprecia que en el electrodo CISG



se tiene una mayor lixiviación de Fe, Ni, Pb, Zn, Al y Sn en comparación con el electrodo CICG. Por otra parte, se observa que el grafito si influye en la lixiviación de los metales presentes en los AEE de desecho, favoreciendo la disolución de los MP con la menor interferencia de metales menos nobles.

Las comparaciones de las concentraciones de las lixivitaciones de los electrodos compactados con los mejores resultados de lixiviación de los metales preciosos Ag y Au en medio de NaCN y HNO₃, muestran que se tiene una mayor lixiviación de los metales interferentes en medio de HNO₃ (Fe 6.0×10^{-4} g, Ni 1.8×10^{-3} g, Pb 2.0×10^{-3} g, Zn 1.6×10^{-3} g, Al 1.25×10^{-4} g y Sn 1.56×10^{-4} g en medio de HNO₃ y en medio de NaCN Fe 1.5×10^{-5} g, Ni 1.4×10^{-4} g, Pb 1.7×10^{-4} g, Zn 4×10^{-5} g, Al 8.6×10^{-5} g y Sn 1.5×10^{-4} g). Es importante destacar que la lixiviación del principal metal interferente, en este caso del Cu, es muchísimo menor en el medio de NaCN (4.3×10^{-3} g para NaCN y 1.1×10^{-1} g para HNO₃), lo cual habla de la alta selectividad de la lixiviación de Ag y Au en este medio respecto al Cu. Estos resultados indican que el mejor electrodo para llevar a cabo la lixiviación de MP Ag y Au con la menor interferencia de Cu en los AEE de desecho, es el electrodo CISG en medio de NaCN ya que presenta una mayor recuperación de Au en un menor tiempo de macroelectrólisis.

4. Conclusiones

- El estudio del electrodo de lámina permitió observar que no se puede tener una lixiviación selectiva de MP sin la presencia de metales interferentes en ambos medios, ya que la Ag se lixivía a potenciales más positivos.
- Los estudios de CPE en los medios de NaCN y HNO₃ muestran que el grafito favorece la lixiviación de los metales en ambos medios. Además de que el grafito en medio de HNO₃ desplaza al Cu a potenciales más positivos respecto de la Ag lo cual favorece la disolución de ésta.
- Los estudios de macroelectrólisis a potencial controlado permiten determinar que material y medio más adecuado para llevar a cabo la lixiviación de MP con la menor interferencia de Cu es el electrodo CISG en medio de NaCN, ya que presenta una mayor recuperación de Au en un menor tiempo de electrolisis

5. Agradecimientos

Al la Dra. Ma. Aurora Veloz R. y al Dr. Víctor E. Reyes Cruz por la confianza depositada en mi, para realizar el trabajo de tesis, “*Lixiviación electroquímica de metales preciosos de algunos componentes provenientes de aparatos eléctricos y electrónicos*”.

6. Referencias

1. Gabriel Motta, “El gigante dormido”, <http://www.estrucplan.com.ar> (julio, 2006.).
2. <http://www.thesilverinstitute.org/supply/index.php> (julio, 2006.).
3. WD Riley, CB Daellenbach, RC Gabler, Recycling of Electronic Scrap en: Metals Handbook. Volume 2. Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. 10ª Edición. USA: ASM International (2000) 1228- 1231
4. VE Reyes Cruz, Recuperación Selectiva de Doré (Au-Ag) de Disoluciones Provenientes de la Lixiviación de Minerales, Utilizando un Reactor Electroquímico FM01-LC. México, D. F. Tesis de Doctorado, UAM-Iztapalapa (2002)
5. VE Reyes Cruz, M. T. Oropeza, I. Gonzáles and C. Ponce de León, Hydrometallurgy 65/2-3 (2002) 187.
6. VE Reyes Cruz, M. T. Oropeza, I. Gonzáles, Electrochemica Acta, 49, (2004) 4417-4423.
7. VE Reyes Cruz, M. T. Oropeza, I. González and C. Ponce de León, J. Appl. Electrochem., 32 (2002) 473.
8. Rosa María Luna Sánchez, “Estudio integral del comportamiento de la cianuración de plata en concentrados minerales”, tesis para obtener el grado de Doctor en ciencias (Ingeniería Química), UAM-Iztapalapa, (2003).
9. Concepción López Escutia “Lixiviación de plata a partir de concentrados sulfurados con thiourea Electrodo-Oxidada” México, D.F., Tesis Maestría en Química, UAM-Iztapalapa (2006).

