



REFLEXIÓN

El plateado: una actividad electroquímica para integrar diversas ciencias con el arte



Ramón Lagos^a y Juan Camus^{b,*}

^a Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Playa Ancha, Valparaíso, Chile

^b Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Playa Ancha, Valparaíso, Chile

Recibido el 15 de octubre de 2016; aceptado el 29 de noviembre de 2016

Disponible en Internet el 7 de enero de 2017

PALABRAS CLAVE

Plateado
electroquímico;
Complejos de plata;
Brillo del
recubrimiento

KEYWORDS

Silver plating;
Silver complexes;
Brightness of the
coating

Resumen El plateado electroquímico es una interesante actividad de enseñanza para la integración de la electroquímica, la química, la física y el arte. El artesano necesita producir una brillante capa de plata sobre sus obras y para ello opta por utilizar baños electrolíticos de diversa naturaleza. El costo y el grado de toxicidad son dos importantes variables que inciden en la determinación de la elección del electrólito que se utilizará. La plata se encuentra generalmente acomplejada y el estudio de los diversos complejos representa una interesante actividad en la química de los compuestos de coordinación. Resulta importante establecer una relación entre el brillo del recubrimiento y la estabilidad del compuesto complejo de plata y, por ende, de su estructura. El trabajo correlaciona las características del electrólito con el brillo de la plata depositada electroquímicamente sobre cobre y sobre níquel. Para cuantificar el brillo observado se utilizaron medidas de reflectividad con luxómetro.

© 2016 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Silver plating: An electrochemical activity to integrate different sciences with the art

Abstract Electrochemical silver is an interesting activity of teaching for the integration of electrochemistry, chemistry, physics and art. Craftsman needs to produce a bright layer of silver on his works and so chooses to use electrolyte of diverse nature. The cost and the degree of toxicity are two important variables that have an impact on the determination of the choice of the electrolyte to be used. Silver usually is found in the complex state and the study of the different complexes represents an interesting activity in the chemistry of coordination compounds. It is important to establish a relation between the brightness of the coating and the stability of the complex compound of silver and therefore of its structure. This paper

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jcamus@upla.cl (J. Camus).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

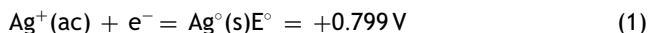
correlates characteristics of electrolyte with the silver brightness electrochemically deposited on copper and nickel. In order to quantify the silver brightness, the reflectivity measurements were made with the luxmeter.

© 2016 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

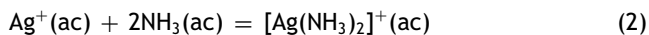
Introducción

Resulta muy interesante y gratificante establecer un nexo entre el arte y la ciencia, especialmente cuando se trata de complementar o valorar obras de arte utilizando procesos electroquímicos que para el artesano orfebre, o escultor en metal, resultan extraordinariamente novedosos. En trabajos anteriores, intentamos presentar elementos de control de calidad en una planta simple de galvanotecnia (Lagos y Camus, 2016) y un trabajo de reflexión en cuanto a la tenue frontera que existe entre el arte y la ciencia, utilizando el ejemplo concreto del cobrizado electrolítico (Camus y Lagos, 2015). En este trabajo continuamos profundizando en el intento de conectar al mundo artesanal con el científico, utilizando el plateado electrolítico.

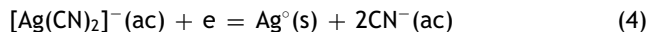
La plata es un metal muy electropositivo (+0.799 V), y es desplazada de la solución por prácticamente todos los metales (Bard y Faulkner, 2001), depositándose con gran velocidad en forma de polvo negro sin ninguna adherencia, de acuerdo con la siguiente reacción:



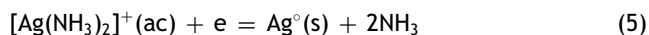
La única manera de evitar este inconveniente es desplazando el potencial hacia valores más electronegativos; por ejemplo, mediante la disminución de la concentración de los iones de Ag^+ en la solución. En la práctica esto se realiza utilizando sales complejas, como son los cianuros dobles, amoniacos dobles, etc.; en ese caso se producen las reacciones:



De esta manera los iones $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ o $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ no se reducen con tanta facilidad porque los ligandos estabilizan al ion de plata en su estado de oxidación +1, desplazando el potencial considerablemente (Archivero Facultad de Química UNAM, 2012), por ejemplo:



$$E = -0.31 \text{ V}$$



$$E^\circ = 0.373 \text{ V}$$

En su afán por producir recubrimientos brillantes y de alta calidad, los joyeros han intentado utilizar electrolitos que contienen plata a partir de diferentes complejos tales como $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$, K_2AgI_3 , $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$, AgBF_4 , este último

compuesto se utiliza solo después de haber plateado inicialmente la superficie con el electrolito cianurado.

Un compuesto complejo de plata, tal como el cianuro doble de plata y potasio $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$, puede caracterizarse por su constante de formación (Chang, 1997) numéricamente igual a $K_f = 1.0 \cdot 10^{21}$.

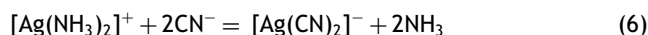
De acuerdo con la reacción (3), se tiene que:

$$K_f = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-}{[\text{Ag}^+][\text{CN}^-]^2} = 1.0 \cdot 10^{21}$$

Similarmente para la reacción de formación del complejo amoniacal (2), se tiene que:

$$K_f = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2} = 1.5 \cdot 10^7$$

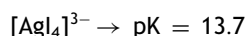
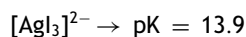
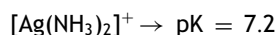
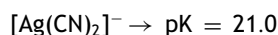
Experimentalmente se puede demostrar cualitativamente la mayor estabilidad del complejo de plata con cianuro frente al amoniacal, al realizar una simple reacción de desplazamiento, que permitirá observar la competencia entre los dos agentes complejantes (Basolo y Johnson, 1980) por el ion de plata. Así por ejemplo, si se añade una disolución de cianuro a la disolución que contiene el complejo amoniacal $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ se producirá la reacción de desplazamiento:



Numéricamente se puede determinar que esta reacción está completamente desplazada hacia la formación del complejo cianurado:

$$K_f = \frac{K_{\text{Ag}[\text{CN}]_2^+}}{K_{\text{Ag}[(\text{NH}_3)_2]^+}} = \frac{10^{21.0}}{10^{7.2}} = 10^{13.8}$$

Al revisar los valores de las constantes de formación de los diversos complejos que estudiaremos en este trabajo, se puede deducir que las soluciones de plateado que producirán un mejor brillo serán las que poseen las mayores constantes de formación, es decir, los complejos cianurados y amoniacales, ocupando los yodados una posición intermedia en el siguiente orden:



Entonces, se esperaría obtener las superficies más brillantes con complejos cianurados y las menos brillantes con complejos amoniacales, esperándose un brillo intermedio de los baños que contienen ligandos yoduro. Llama la atención el comportamiento de estos últimos complejos, porque poseen una estructura trigonal y tetraédrica, respectivamente, y tienen una estabilidad intermedia, superior a la de los complejos amoniacales (cuya estructura lineal es similar a los cianurados).

Los iones complejos deben disociarse continuamente en el medio acuoso, en presencia de un potencial eléctrico. Los potenciales de descarga del ion de plata varían no solo con la naturaleza del ligante, sino también con otros parámetros de la electrólisis (densidad de corriente, principalmente) y con los parámetros fisicoquímicos de la solución como el pH, la agitación y la temperatura (Ortiz González, 2011).

Los iones complejos de plata se dirigen hacia el cátodo donde deben disociarse antes de reducirse sobre la superficie metálica, de esta manera el ion libre (o hidratado) se descarga en la interface ganando electrones originando el átomo de plata que se irá reacomodando en el retículo cristalino para ir formando los microcristales que, en definitiva, producen el brillo metálico. Se ha comprobado que los iones cianurados de plata pueden reducirse como complejos para generar plata metálica Ag^0 (Lyons, 1954); de acuerdo con esta teoría, el ion de plata no se descarga libre, sino en forma de complejo, sin embargo, finalmente se deberá producir la reacción (4) en el cátodo.

En general, se observa que a altas densidades de corriente (o alta sobretensión) la naturaleza cristalográfica de depósito favorece la formación de un gran número de gérmenes de cristalización, es decir, de un depósito de granulación fina. Sin embargo, considerando que la electrocristalización se desarrolla en dos etapas: a) deposición del ion hidratado de plata y b) crecimiento del cristal de plata, es decir, primero el ion hidratado se deshidrata, se reduce y luego se incorpora en la red cristalina, implica entonces que los iones adsorbidos en la superficie del metal se incorporarán de manera preferencial en una zona plana del electrodo (Oniciu, 1974) o en zonas exentas de imperfecciones (rayas, ángulos, poros, etc.). En otras palabras, es de vital importancia la preparación de la superficie sobre la cual se depositará la plata. Una superficie limpia, plana, finamente pulida y exenta de rayas permitirá la obtención de un depósito de la mejor calidad.

En la práctica para aumentar el brillo de los depósitos se utilizan también abrillantadores, que son sustancias de naturaleza coloidal tensoactivas (Giudice y Pereyra, 2015), cuyo mecanismo de acción consiste en absorberse en los sitios activos de la superficie, y como regla general estas sustancias trabajan con mayor efectividad cuanto mayor sea su peso molecular; entre ellas se cuentan los péptidos, aminoácidos, (gelatinas), polipéptidos, proteínas, polisacáridos, azúcares, etc. Estas sustancias obligan a los átomos de plata a depositarse azarosamente, evitando la nucleación preferencial, es decir, los montículos arborescentes de cristales; en otras palabras, se podrían obtener dimensiones de grano del orden de 10 nm los cuales reflejan muy bien la luz.

Para el artesano experimentado es muy simple diferenciar los depósitos de mayor o menor brillo (Mogollón y Franco, 2016; Paulosi, 2016), sin embargo, la obtención de

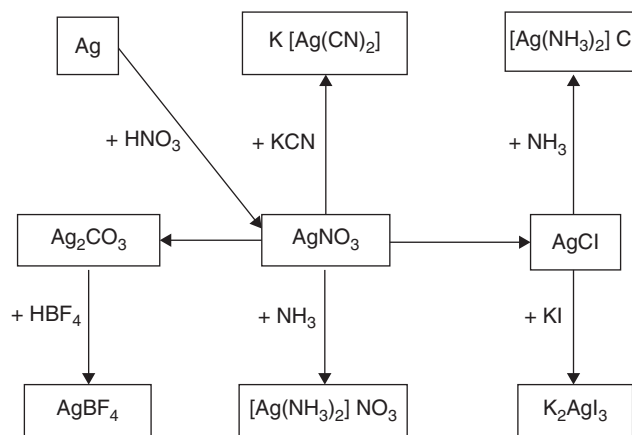


Figura 1 Mapa de síntesis de diversos complejos de plata.

tales superficies depende principalmente de la presencia de aditivos que son difíciles de conseguir o caros de adquirir, entonces resulta muy interesante cuantificar el grado de brillo del depósito obtenido; en ausencia de aditivos, esto se puede realizar con instrumentos llamados brillómetros o luxómetros (Electrónica-básica.com); por ser este último un instrumento muy versátil, es el que utilizaremos en este trabajo.

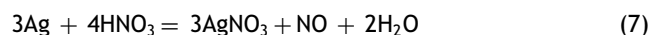
La toxicidad de los baños de cianuro (Riesgo químico-Accidentes graves, 2008) han estimulado su reemplazo, sin embargo, ninguno de los baños utilizados produce un recubrimiento similar a su calidad. La plata se utiliza no solamente en joyería, sino también en la industria eléctrica (en alto y bajo voltajes), principalmente para la fabricación de contactos; el simple recubrimiento con plata permite disminuir considerablemente la resistencia eléctrica (Osborne, 2016). Su gran capacidad de reflexión la hacen indispensable en la fabricación de espejos. Con plata se pueden recubrir piezas de cobre y sus aleaciones, en condiciones de atmósfera no corrosiva. El espesor de la capa debe fluctuar entre 3 y 6 micras. En condiciones de alta corrosividad ambiental, se debe recubrir la plata con esmaltes o lacas especiales o aumentar su espesor hasta 9-12 micras.

La composición química y los parámetros de trabajo de diferentes baños de plateado se encuentran diseminados en diversas fuentes bibliográficas (Canning, 1982; Kadaner, 1976; Helmenstine, 2016).

Parte experimental

De acuerdo con el mapa de síntesis para compuestos complejos de plata, presentado en la figura 1, la materia prima para la preparación de los diferentes electrolitos de plata es el nitrato de plata, a partir del cual se deberán seguir las diferentes rutas de síntesis.

El nitrato de plata se preparó disolviendo 323.604 g de plata en 147.46 ml de ácido nítrico 86%, de acuerdo con los cálculos estequiométricos, con base en la reacción:



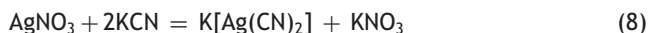
Como se observa, la reacción transcurre emanando vapores nitrosos muy tóxicos, que se deben atrapar mediante trampas de agua, trabajando bajo campana de extracción de gases. Luego el nitrato de plata resultante se

Tabla 1 Composición química y parámetros de trabajo del electrólito cianurado de plata

Componentes y parámetros de trabajo	Composición química, g/l
Cianuro de plata	36
Cianuro de potasio	60
Carbonato de potasio	45
Temperatura, °C	24-32
DDC, A/dm ²	0.5-1.5

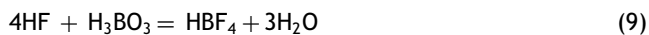
evapora mediante suave calentamiento, hasta obtener cristales rómbicos incoloros que se separan al enfriar la solución. Después, se escurren las aguas madres por centrifugación, y de esta manera queda en los cristales aproximadamente un 0.3% de humedad.

Para preparar 1 l del electrólito cianurado de plata se procede de la siguiente manera: se disuelven 45.68 g de nitrato de plata en 130 ml de agua destilada. A esta solución se le agrega, bajo constante agitación, la cantidad exacta de cianuro de potasio al 5%, necesario para la formación del precipitado blanco de cianuro de plata, se filtra y se lava con abundante agua destilada y luego, sin permitir que se seque, se disuelve con un exceso de cianuro de potasio al 5%, para obtener el complejo de dicianoargentato de potasio («cianuro doble de plata y potasio»), de acuerdo con la siguiente reacción:

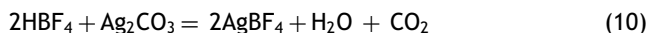


A la solución resultante se agregan, bajo constante agitación, 45 g de carbonato de potasio. Una vez disuelto totalmente, se afora con agua destilada hasta 1 l. El ion nitrato que permanece en la solución, cuando se produce la electrólisis, se desplaza hacia el ánodo de plata, ayudando a su disolución, lo que permite disminuir en parte el exceso de cianuro libre. En estas condiciones el electrólito se ajusta a la composición química (Kadaner, 1976) de la tabla 1.

Para preparar 1 l del electrólito con base en el fluoroborato de plata, se diluyen 62.5 ml de ácido fluorhídrico concentrado con 62.5 ml de agua destilada. Separadamente, en 100 ml de agua caliente, se disuelven 42.5 g de ácido bórico; esta solución se mezcla con la solución de ácido fluorhídrico (enfriándolo continuamente). De esta manera se forma el ácido fluorobórico:



Luego, a esta solución se le agregan 42.5 g de carbonato de plata, que reacciona con el ácido fluorobórico, produciendo el tetrafluoroborato de plata:



Cuando el bióxido de carbono ha terminado de burbujear, se agregan a la solución resultante 5 g de carbonato de potasio, agitando continuamente. Separadamente, en 100 ml de agua caliente, se disuelven 75 g de ácido bórico; esta solución se mezcla con la anterior y luego se afora a 1 l con agua destilada. De esta manera se obtiene el electrólito de acuerdo con la composición química (Kadaner, 1976) presentada en la tabla 2. El electrólito obtenido antes de ser

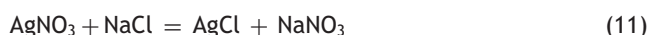
Tabla 2 Composición química y parámetros de trabajo del baño de tetrafluoroborato de plata

Componentes y parámetros de trabajo	Composición química, g/l
Ácido fluorhídrico	125
Carbonato de plata	85
Ácido bórico	75
Carbonato de potasio	10
DDC, A/dm ²	0.45
Temperatura, °C	20-25

sometido a electrólisis debe ser filtrado, en presencia de carbón activo.

Para preparar 1 l del electrólito de plateado con base en complejos de yodo, se procede de la siguiente manera: se disuelven 23.56 g de nitrato de plata en 100 ml de agua destilada. Separadamente se disuelven 8.25 g de cloruro de sodio.

Luego se mezclan ambas soluciones para precipitar la plata como cloruro de plata, de acuerdo con la reacción:

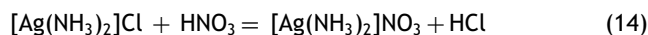


El precipitado resultante se filtra, se lava con agua destilada y se traspasa a un vaso de precipitado al cual se agrega, agitando continuamente, una solución que se preparó disolviendo 70.32 g de yoduro de potasio en 200 ml de agua destilada. En estas condiciones se produce la formación del complejo de acuerdo con la siguiente reacción:



A la solución resultante se agrega, bajo agitación, 250 ml de una solución que contiene 180 g de yoduro de potasio. El volumen final se afora con agua destilada a 1 l. En la tabla 3 se presentan los componentes, parámetros y composición química (Kadaner, 1976) de este electrólito.

Muchos talleres prefieren utilizar la llamada «solución de plata amoniacal» para realizar la electrólisis; para ello también parten del nitrato de plata, pero podrían partir del cloruro de plata, especialmente cuando se utiliza plata recuperada (de placas radiográficas, residuos del taller, etc.). Químicamente, las reacciones que intervienen en este caso serían:

**Tabla 3** Componentes, parámetros y composición química del electrólito triyodoargentato de potasio

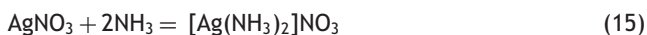
Componentes y parámetros de trabajo	Composición química, g/l
K ₂ AgI ₃	80-100
KI	250-300
Temperatura, °C	20-25
DDC, A/dm ²	0.2

Tabla 4 Composición química y parámetros de trabajo del electrólito amoniacal de plata

Componentes y parámetros de trabajo	Composición química, g/l
Nitrato de plata	170
Amoniaco (25%, d = 0.9 g/ml)	30
Temperatura, °C	24-32
DDC, A/dm ²	0.5-1.5

El complejo obtenido (nitrato de diamminoplatina (I)) es llamado comercialmente «nitrato de plata amoniacal». Es este producto el que se somete a electrólisis para obtener plata en la industria y en talleres artesanales.

Para producir 1 l de electrólito de complejo de plata amoniacal se disuelven 169.86 g de nitrato de plata en 500 ml de agua destilada y sobre esta solución se agregan 30 ml de amoniaco concentrado (25.33% con d = 0.91 g/ml). La solución resultante se afora a 1 l con agua destilada y se conserva en botella ámbar protegida de la luz. El complejo se produce de acuerdo con la siguiente ecuación:



En la [tabla 4](#) se presentan la composición química y los parámetros de trabajo utilizados en la electrólisis.

Los depósitos de plata se realizaron sobre láminas de cobre pulidas y/o niqueladas. Las placas de 10 × 50 mm² se introdujeron en los electrólitos respectivos, durante 2 min, controlando las densidades de corriente respectivas, utilizando la configuración usual ([Lagos y Camus, 2016](#)) para galvanotecnia: fuente de corriente continua-reóstato-amperímetro-electrodos-electrólito-celda electrolítica. Se utilizaron ánodos de acero inoxidable 316.

Para realizar las mediciones de brillo, se utilizó un láser rojo para iluminar las piezas plateadas, recibiendo el reflejo en un luxómetro, que se emplazó con un ángulo de incidencia de 20° sobre la superficie plana de cobre plateada, como se observa en la [figura 2](#).

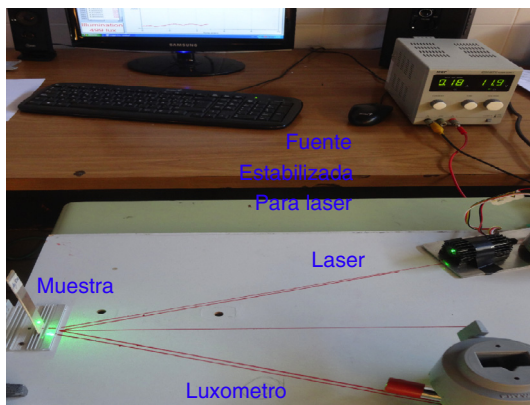


Figura 2 Configuración del experimento luxómetro-muestra plateada-láser- fuente estabilizadora de corriente-computador (software LoggerPro).

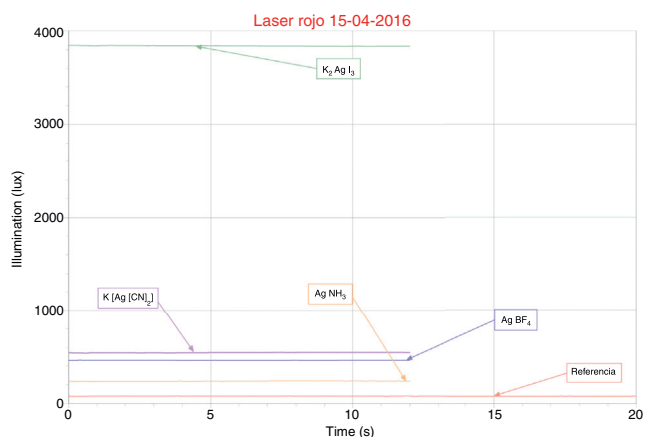


Figura 3 Gráfico iluminación vs. tiempo de superficies plateadas directamente sobre cobre.

Resultados y discusiones

La especie compleja $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ tiene una constante de formación $K_f = 1.0 \cdot 10^{21}$, en cambio la constante de la especie compleja amoniacal $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ es $1.5 \cdot 10^7$; esto indica que el complejo cianurado de plata es varios órdenes de magnitud más estable que el de amoniacal, y a la hora de sufrir disociación bajo los efectos de la corriente eléctrica tendrá más dificultad para hacerlo y se podría esperar que la reducción debería ser más lenta permitiendo la formación de microcristales con mayor facilidad, lo que implicará la formación de una película de metal más brillante que en el caso de platear con la solución amoniacal. Este fenómeno se verificó experimentalmente y cuantitativamente se observó un promedio de 545 lux, comparado con el complejo amoniacal que mostró un promedio de 227 lux, como se observa en la [figura 3](#), en el caso de la lámina plateada directamente sobre cobre.

El complejo yodado de plata $\text{K}_2[\text{AgI}_3]$, de acuerdo con los valores de las constantes de estabilidad, presenta valores intermedios entre los cianurados y amoniacales, por lo que se esperaría que estos electrólitos presentaran brillos intermedios, sin embargo, estos complejos presentan superficies muy brillantes, alcanzando 3,818 lux. Cabe señalar que la superficie tuvo que limpiarse antes de someterla a mediciones con el luxómetro.

Cuando se electrodeposita la plata sobre el depósito de níquel, el complejo yodado alcanza valores de 5,000 lux, cercano al cianurado con promedios de 4,929 lux. El depósito de plata utilizando electrólito amoniacal, en estas condiciones, mejoró considerablemente su brillo, alcanzando 2,143 lux.

La sal de plata AgBF_4 se utiliza para engrosar las películas de plata y no posee un brillo considerable. Este depósito mostró un brillo de 500 lux cuando se deposita sobre cobre y 2,643 lux sobre níquel. Cabe señalar que al utilizar este electrólito directamente sobre el cobre, la plata se reduce inmediatamente produciendo un depósito negrozco que puede ser retirado mediante un paño seco, antes de realizar las mediciones de brillo.

En el caso de utilizar un brillómetro, la intensidad de la luz reflejada depende del material y del ángulo de iluminación, por ello se definen 3 geometrías para las mediciones:

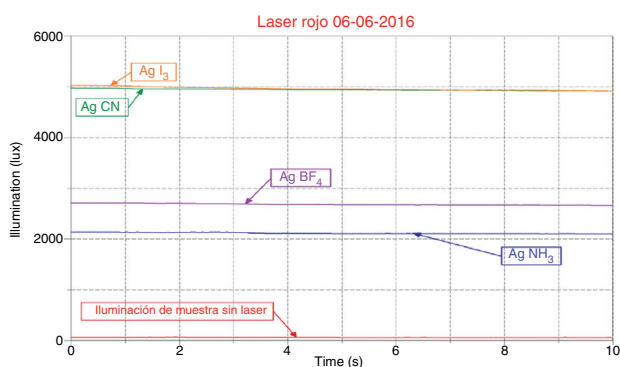


Figura 4 Gráfico iluminación vs. tiempo de superficies plateadas sobre depósito de níquel.

20° como ángulo de incidencia, para superficies muy brillantes, 60° para superficies semibrillantes y 85° para superficies mate. En nuestro caso, la fuente de luz monocromática nos brindó la oportunidad de usar un ángulo de incidencia de 20°, como se muestra en la figura 2, para realizar todas las mediciones y pudimos graficar los resultados (iluminación vs. tiempo), que se presentan en las figuras 3 y 4.

El gráfico de la figura 4 corresponde a mediciones realizadas sobre superficies de níquel plateadas y muestra la intensidad de las 4 muestras bajo luz láser de 150 mW y una longitud de onda de 650 nm (rojo). La curva roja inferior es la referencia del sensor sin la luz láser; la curva azul corresponde al electrólito que contienen $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$; la curva violeta al electrólito que contiene AgBF_4 ; la curva verde al electrólito que contiene $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$, y la curva café al electrólito que contiene K_2AgI_3 .

Los complejos lineales de plata, que contienen ligando de cianuro y amoniaco, son históricamente reconocidos para la producción de excelentes electrólitos de plateado, debido a sus altas estabilidades y a su relativo bajo costo y fácil producción.

De acuerdo con el mapa de síntesis utilizado en este trabajo, se puede establecer que la formación de los diferentes compuestos aptos para platear electroquímicamente es perfectamente viable de ser realizada por artesanos con equipo de laboratorio de bajo costo utilizando como elemento de partida la plata metálica 99.99%, para producir a partir de ella el nitrato de plata, que será, en definitiva, la materia prima para la síntesis de los diferentes compuestos. Las rutas de síntesis representan un interesante desafío para los estudiantes de química y en este caso tienen una importante utilidad práctica, pudiendo terminar los productos en el taller de galvanotecnia de artesanos plateros.

La calidad y el comportamiento de los complejos cianurados y amoniacales son dos variables conocidas en el campo de la joyería porque históricamente han servido para sustituir piezas de plata maciza, es decir, muchas piezas ejecutadas en cobre o sus aleaciones pueden ser recubiertas («bañadas» o «enchapadas») con una película brillante y de alta adherencia, de manera que es imposible reconocerla a menos que se realice un ensayo destructivo para llegar al metal base.

La obtención de un brillo satisfactorio es de vital importancia, porque principalmente las obras de arte de compleja

configuración que produce el artesano, no siempre es posible pulirlas y se prefiere la obtención de superficies especulares. Definitivamente, el electrólito de cianuro permite la obtención de las películas de mejor calidad, sin embargo, a raíz de su controversial comportamiento tóxico, se le utiliza con especial prevención. Los electrólitos agotados que contengan cianuros deben ser tratados separadamente, para ser descompuestos antes de depositarlos en sitios seguros.

El complejo yodado de plata es especialmente interesante, obteniéndose un depósito de «plata envejecida», y puede fácilmente competir en brillo y calidad con los electrólitos amoniacales y cianurados, sin embargo, el alto consumo de yoduro de potasio hace económicamente inviable la utilización masiva de este electrólito.

La sal tetrafluoroborato de plata (AgBF_4) debe ser utilizada solo cuando se requiera aumentar el grosor de la película de plata. Esta sal permite obtener superficies mate grisáceas de plata.

A pesar de poder distinguir la calidad del brillo visualmente, fue posible cuantificarlo, utilizando un luxómetro, evitando así la adquisición de un brillómetro, equipo que tiene un uso muy restringido. Estas mediciones permitieron observar que el plateado sobre la pieza de cobre níquelado mejora sustancialmente el brillo del plateado resultante, y que con el electrólito yodado se obtienen las superficies más especulares.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Archivero Facultad de Química UNAM. (2012). Complejos y su nomenclatura [consultado 10 Jul 2016]. Disponible en: <http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Complejosyunomenclatura.13378.pdf>
- Bard, A. J. y Faulkner, L. R. (2001). *Electrochemical methods: Fundamentals and applications* (2nd ed.). John Wiley and Sons [consultado 10 Jul 2016]. Disponible en: https://www2.chemistry.msu.edu/courses/cem837/Chapter%201_notes.pdf
- Basolo, F. y Johnson, R. (1980). *Química de los compuestos de coordinación*. pp. 128–134. Ed. Reverté S.A.
- Camus, J. y Lagos, R. (2015). La frontera entre el arte y la ciencia: el cobrizado. *Revista Chilena de Educación Científica*, 14(2), 35–39.
- Canning, W. (1982). *The Canning handbook. Surface finishing technology*. Birmingham: Kluwer Academic Publishers.
- Chang, R. (1997). *Química*. pp. 734. Madrid: Ed. McGraw Hill.
- Electrónica-básica.com. (2014). ¿Qué es un luxómetro? [consultado 10 Jul 2016]. Disponible en: <http://www.electronica-basica.com/luxometro.html>
- Giudice, C. y Pereyra, A. (2015). Electrodeposición. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional La Plata [consultado 10 Jul 2016]. Disponible en: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/electrodeposicion.pdf>
- Helmenstine, A. (2016). About education. Electroplating — what it is and how it works [consultado 10 Jul 2016]. Disponible en: <http://chemistry.about.com/od/electrochemistry/a/electroplating.htm>
- Kadaner, L. I. (1976). *Spravochnik pa Galvanostegii*. Kiev, URSS: Ed. Tejnika.

- Lagos, R. y Camus, J. (2016). Experimentos integrados: utilización de sensores en plantas de la galvanotecnia. *Educación Química*, 27(4), 264–268 [consultado 10 Jul 2016]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X16300027>
- Lyons, E. H. (1954). *The deposition process*. *Journal of the Electrochemical Society*, 101(7), 376–381.
- Mogollón, X. y Franco, E. (2016). Recubrimiento con plata. Laboratorio de hidrometalurgia [consultado 10 Jul 2016]. Disponible en: <https://prezi.com/o.z1ofkbko5t/recubrimiento-con-plata/>
- Oniciu, L. (1974). *Chimie Fizica. Electrochimie. Electrocrystalizarea*. pp. 304–325. Bucuresti: Ed. Didactica si Pedagogica.
- Ortiz González, T. (2011). Plateado electrolítico. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [consultado 10 Jul 2016]. Disponible en: <https://issuu.com/tatianajackelineortizgonzalez/docs/plateado>
- Osborne, K. (2016). *Chemical processes. Metal protection Ltd. Auckland*. Ed. John Packer [consultado 10 Jul 2016]. Disponible en: <http://nzic.org.nz/ChemProcesses/metals/8G.pdf>
- Paulosi. (2016). Sabías qué [consultado 10 Jul 2016]. Disponible en: <http://www.paulosi.es/SabiasQue/La-Plata>
- Riesgo químico-Accidentes graves. Cianuro de sodio. Consejería de Sanidad de Murcia. Septiembre 2008. [consultado 10 Jul 2016]. Disponible en: <https://www.murciasalud.es/recursos/ficheros/137911-CIANURO.DE.SODIO.pdf>