

TÉCNICAS Y MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS: GALVANOPLASTIA Y POTENCIOMETRÍA

ELECTROCHEMICAL TECHNIQUES AND METHODS: GALVANOPLASTIA AND POTENTIOMETRY

CARLOS GARCÍA GONZÁLEZ¹, ALEX TENE JAPÓN², KARINA BURGOS DÍAS³, CRISTHIAN ZAMBRANO CABRERA⁴

1 Universidad Técnica de Machala, Ecuador. cgarcia@utmachala.edu.ec

2 Universidad Técnica de Machala, Ecuador. atene_est@utmachala.edu.ec

3 Universidad Técnica de Machala, Ecuador. kburgos_est@utmachala.edu.ec

4 Universidad Técnica de Machala, Ecuador. czambrano@utmachala.edu.ec

RESUMEN

La electroquímica, es un conjunto de técnicas que aplican la energía e iones químicos. Una de estas técnicas es la Metalurgia-Galvanoplastia aplicada para realizar el cobreado, plateado, dorado entre otros; estas técnicas electroquímicas han evolucionado a lo largo del tiempo; en la actualidad se las emplea para determinar y cuantificar desde metales pesados, vitaminas, hasta principios activos de formas farmacéuticas aplicando por ejemplo la potenciometría. Esta investigación demostró que se puede combinar el arte, la química y la ciencia aplicando baños galvánicos en antiguas monedas ecuatorianas como el Sucre y otras más, recubriéndolas de Cobre (Cu), Plata (Ag) y Oro (Au). En el proceso metodológico, se realizó el cobreado aplicando material reciclado de alambre de Cu, el cual se lo coloca en el ánodo y la moneda en el cátodo, con la ayuda de un generador de energía (adaptador universal de 7,5 voltios) y un electrolito preparado a base de 14g de cianuro en 1000 mL de agua desionizada. De la misma manera se trabajó con la Ag a partir de plata de mil y el Au de alta pureza. En otro proceso, la Potenciometría se aplicó para la generación de voltogramas de vitamina C o Ácido Ascórbico (AA) y Ácido acetyl salicílico; los picos de intensidad de corriente (μA) se obtuvieron utilizando un electrodo de referencia (Ag/AgCl/KCl), un contra electrodo de platino y un electrodo de trabajo de carbón vítreo.

PALABRAS CLAVE: Electroquímica, metalúrgica, galvanoplastia, potenciometría, electrolito.

ABSTRACT

Electrochemistry is a set of techniques that apply energy and chemical ions. One of these techniques is the metallurgy-electroplating like coppered, silvering, golding and others. The techniques have been evolved over the time, nowadays is used to determine and quantify heavy metals, vitamins, inclusive pharmaceutical forms principle actives by applying potentiometry. This investigation proved that we can combine art, chemistry and science applying galvanic baths in coins originative from Ecuador such as the Sucre and others, covering them with copper, silver and golden. In the methodological process, the copper was applied, using wire copper recycled material which is placed in the anode, and the coin is placed in the cathode, with the aid of an energy generator (7,5 volts universal adapter) and an electrolyte prepared on the basis of 14 g of cyanide in 1000 ml of deionized water. In the same way it worked with Ag from silver of thousand and the Au of high purity. In another process, the potentiometry was applied for the voltograms generation of vitamin C or Ascorbic Acid (AA) and acetyl salicylic acid, intensity peaks of current (μA) using reference electrode (Ag/AgCl/KCl) opposite platinum electrode, vitreous carbon as working electrode.

KEYWORDS: electrochemistry, metallurgy, electroplating, potentiometry, electrolyte.

DOI: <http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v19i1.196>

RECIBIDO: 17/10/2017

ACEPTADO: 15/3/2018

INTRODUCCIÓN

La electroquímica es considerada una técnica científica y tecnológica, derivada de la fisicoquímica, esta técnica permite el estudio de reacciones en un material conductor, como por ejemplo un metal y un electrolito (González Sánchez & Dzib Pérez, 2015). Las técnicas electroquímicas específicamente se enfocan en las reacciones de óxido-reducción, permitiendo la transferencia de electrones entre sustancias, la solución de la muestra y otras características que intervienen (Segura, Jiménez, & Giraldo, 2016). Estas técnicas comúnmente han sido empleadas para estudiar los diferentes minerales; por ejemplo: la metalurgia, galvanoplastia, voltamperometría, cronoamperometría, cronopotenciometría, cronocoulombimetría, y recientemente la redisolución anódica (Nava & González, 2007).

Galvanoplastia es una técnica electroquímica de gran interés en el tratamiento de metales, permitiendo recubrir, proteger o decorar diferentes materiales; el proceso se basa en la descarga de un ion metálico, presente en una disolución e incorporar al electrodo en forma de átomo metálico (González, Sandoval, Gutiérrez, Buenrostro, & Aguirre, 1997).

Desde tiempos muy antiguos, ha existido la práctica de recubrir o revestir (baño electrolítico) ya sea un metal con otro metal, un no metal o con un metal. El recubrimiento electrolítico de un material se da por introducción en un baño compuesto por un electrolito, al cual se le aplica corriente (cátodo) permitiendo recubrir y secar el material (Julve, 2009; Sandoval, 2013).

Estos recubrimientos electrolíticos de metales, es empleado en revestimiento de las monedas de trueque, las cuales son recubiertas por metales preciosos, entre estos se encuentran los discos de cobre y placas de hierro recubiertos por una capa fina de plata (Julve, 2009).

El recubrimiento metálico con cobre se basa en el depósito de una capa fina de un material sobre un metal ya sean de latón, acero que sirve para aumentar la resistencia a la corrosión, desgaste sobre todo la oxidación, mejorar la conductividad y poder soldar con menos dificultad algunos materiales, y sobre todo para mejorar su aspecto el cual será protegido; el cobreado se realiza a partir de baños alcalinos cianurados y baños ácidos con ácido sulfúrico o sulfato cúprico (López Badilla, Sánchez Ocampo, Paz Delgadillo, & Ling López, 2016; Sandoval, 2013).

El recubrimiento con plata (plateado). La plata es un metal altamente electropositivo, lo

cual permite ser desplazado de una solución por todos los metales; con plata se pueden revestir materiales de cobre y sus respectivas aleaciones. Un baño de plata con cianuro permite obtener superficies brillantes, con amoníaco menos brillantes y con yoduro se obtiene un brillo intermedio de la superficie (Lagos & Camus, 2017).

El recubrimiento con oro (dorado), se aplica en cobre, metales puros y aleaciones; este recubrimiento se realiza en caliente para obtener una aplicación más homogénea, duradera y con el color ideal (Duque & Benitez, 2014; Peña, 2014).

Potenciometría es otra de las técnicas de la electroquímica que hoy en día son utilizadas para la determinación de principios activos de medicamentos u hortalizas. Los métodos generalmente utilizados son los de voltametría de barrido lineal (Ghadimi et al., 2016; Lara Sandoval, García Colmenares, & Chaparro Acuña, 2015).

La voltametría comprende varias técnicas analíticas y químicas, que se encargan de medir la corriente que circula dentro de una celda electroquímica al existir un potencial que varía en el tiempo “señal de excitación” bajo parámetros que favorecen la polarización de los electrodos “indicado o de trabajo” (Gómez-Biedma, Soria, & Vivó, 2002; Vilasó, 2014). El equipo a utilizar es un potencióstato y una celda electroquímica en donde la disolución de la muestra a analizar “analito” y tres electrodos (trabajo, referencia y contraelectrodo) interactúan para generar una intensidad de corriente (μA). Esta técnica es de barrido lineal por que durante el análisis existe la modificación lineal del potencial del electrodo de trabajo (Gómez-Biedma et al., 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS UBICACIÓN GEOGRÁFICA DONDE SE EFECTUÓ LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo experimental, se realizó en las instalaciones de los laboratorios de investigación de la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, ubicadas en el km 5 ½ vía Pasaje.

- Longitud 79°54'46,17"
- Latitud 3°17'07,19"

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se trata de un estudio descriptivo, experimental y aplicativo. Se empleó la metodología de Galvanoplastia (González et al., 1997; Julve, 2009) y Potenciometría, (González et al., 1997; López Badilla et al., 2016; Sandoval, 2013; Segura et al., 2016). Se utilizó esta metodología debido a

la evolución que ha tenido en el mundo de la Electroquímica (Kajánek, Pastorek, Fintová, & Bača, 2017; Petruš et al., 2017).

DISEÑO DEL EXPERIMENTO GALVANOPLASTIA

Para desarrollar el experimento se utilizaron 50 monedas, luego se realizaron pruebas en varios electrolitos a varios voltajes, dando como mejor resultado el electrolito preparado a base de 14 g de cianuro en 1000 mL de agua desionizada; además, se utilizó un adaptador universal de corriente para el suministro de 7,5 voltios; luego, se trabajó con cable de cobre eléctrico para el cobreado, plata de mil para el plateado y oro de alta pureza. Cabe mencionar que la utilización de guantes y mascarilla en una campana son indispensables

DECAPADO

Es importante que las piezas sean tratadas previamente, para lo cual se lavan y se desengrasan para proceder con los baños galvánicos; primero, se utiliza un cepillo metálico fino para limpiar el exceso de material aplicado, luego se realiza un primer lavado con agua jabonosa y finalmente un baño en ácido nítrico al 2 % en volumen de 3 a 5 minutos.

COBREADO

Se aplicaron dos tipos de baños galvánicos el primero a base de un electrolito de sulfato cúprico y el segundo de cianuro de sodio.

PLATEADO Y DORADO

se aplicó el baño galvánico de cianuro de sodio; como se observa en la Figura 1, en la celda electrolítica la pieza a ser recubierta va en el Cátodo (-) y el (Cu, Ag, Au) en el Ánodo (+).

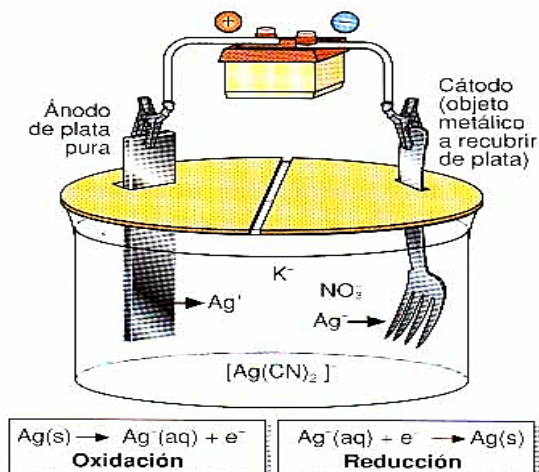


Figura 1. Representación de un baño galvánico de plata
Fuente: <http://www.cienciafacil.com/Galvanoplastia.html>.

EQUIPOS, REACTIVOS Y MATERIALES

Para este experimento se utilizó una cocineta eléctrica marca TECNO un adaptador universal de corriente marca ENGLAND, el cianuro de sodio, sulfato cúprico, ácido nítrico y agua desionizada. Las soluciones fueron preparadas en envases de vidrio adecuados para evitar accidentes, contaminaciones y degradaciones. Los materiales utilizados fueron: vasos de precipitación marca Kimax, varilla de vidrio, pinzas, cepillo metálico fino, pipetas volumétricas, guantes, mascarilla, gorro y gafas. Para los trabajos en esta área se deben tomar muy en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los experimentos electroquímicos son peligrosos por la manipulación de sustancias tóxicas, por lo que es vital utilizar protección de guantes, lentes, mascarilla, bata de laboratorio y cabello recogido.
- La mezcla de ácido y cianuro genera cianuro de hidrógeno, el cual es nocivo para la salud; por lo que es recomendable lavar bien la joyería al ser introducida en esta sustancia.
- Las materias primas deben ser de primera calidad, caso contrario el efecto en los baños galvánicos no será el esperado.
- En potenciometría se recomienda un análisis previo de las conexiones de los electrodos con el potenciostato para evitar sobrecargas o polaridades cambiadas.
- Las muestras deberán ser preparadas en el instante mismo por efectos oxidativos y en frascos de color ámbar en especial con el AA para que no se degrade.

POTENCIOMETRÍA

Este método se basa en la respuesta de corriente vs potencial de un electrodo de carbón vítreo en una solución problema cargada de un electrolito. Para desarrollar el experimento y obtener voltagramas de ácido acético y ácido ascórbico (AAS y AA), se realizaron 5 mediciones en un potenciostato para determinar el promedio del potencial de cada pico en μA . El barrido de potencial de cada solución fue entre 0 mV y 1,5 mV, utilizando una velocidad de barrido de 0,2 mV/s para obtener voltagramas.

EQUIPOS

Se utilizó un equipo Potenciostato (*Princeton Applied Research*), con el programa Versa Studio

VERSION 2.4; primero se calibró el equipo, luego se acopló una celda electroquímica que consta de 3 electrodos: un electrodo de trabajo de carbón vítreo, un electrodo de referencia (Ag/AgCl/KCl) y un contra electrodo de platino; finalmente, se calibró una balanza analítica y se preparó una bombona de nitrógeno (Ayala, García, Sánchez, Jirón, & Espinoza, 2016; García, Llanos, Mazón, Dávila, & Cun, 2016)

REACTIVOS Y MATERIALES

Se utilizó: nitrato de sodio, ácido nítrico, ácido ascórbico, ácido acetil salicílico, cloruro de potasio y agua desionizada. Las soluciones fueron preparadas en envases adecuados de color ámbar para evitar oxidaciones y degradaciones, Los materiales utilizados fueron: mortero con pistilo, embudo, soporte para embudo, papel filtro, pipetas volumétricas, balones volumétricos y vasos de precipitados. Todas las soluciones han sido preparadas con agua desionizada.

- **Electrolito de soporte (HNO₃/NO₃Na 0,1 M).** Primero se preparó en un balón volumétrico (250 ml.), luego se agregó nitrato de sodio (2,5 gr), finalmente se aforó con ácido nítrico 0.1 Molar.
- **Solución patrón de ácido ascórbico** se utilizó AA extra puro (99.99 %), se pesó 0.25 g en un balón volumétrico de 50 mL y se aforó con electrolito de soporte HNO₃/NO₃Na 0,1 M.; luego de medir en el Potenciostato la muestra, se realizaron 5 repeticiones.
- **Solución patrón de ácido acetil salicílico** se utilizó AAS extra puro (99.99 %), se pesó 1 g y se disolvió en 10 mL de Metanol; luego en un balón volumétrico de 50 mL y se aforó con electrolito de soporte HNO₃/NO₃Na 0,1 M.; para medir en el Potenciostato la muestra, se realizaron 5 repeticiones diferentes.

RESULTADOS

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DE GALVANOPLASTIA

Se pudieron realizar baños galvánicos a partir de métodos electroquímicos, seleccionando un electrolito que permite la fluidez de iones metálicos con mayor durabilidad; previamente se analizaron algunas variables como se muestra en la Figura 2. Se pudo observar el proceso de óxido reducción que se produce del ánodo (polo positivo +) al cátodo (polo negativo -) del proceso que se mostró en un baño galvánico por influencia de la energía (7,5 voltios).

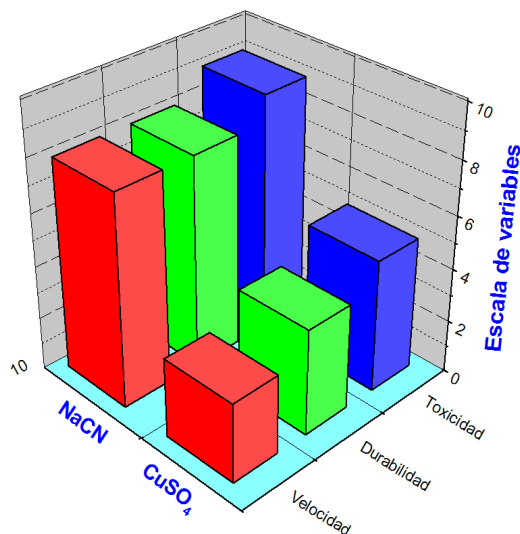


Figura 2. Representación de las variables de Velocidad, Durabilidad y Toxicidad del electrolito de sulfato de cobre (CuSO₄) vs cianuro de sodio (NaCN) para el Cobreado.

Fuente: Datos tomados por los autores, variables de Velocidad, Durabilidad y Toxicidad de NaCN vs CuSO₄, y graficado en Software estadístico Origin.

Se realizó el cobreado, plateado y dorado logrando recubrir 50 piezas metálicas como monedas nacionales y extranjeras, llaves y conectores, con un buen porcentaje de brillo metálico agradable, como se puede observar en la Figura 3.

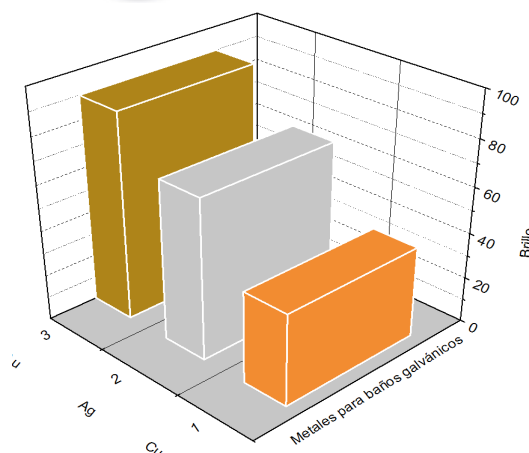


Figura 3. Representación del porcentaje de brillo metálico después del baño galvánico entre cobre, plata y oro

Fuente: Datos tomados por los autores, Brillo metálico del Au, Ag, Cu y graficado en Software estadístico Origin .

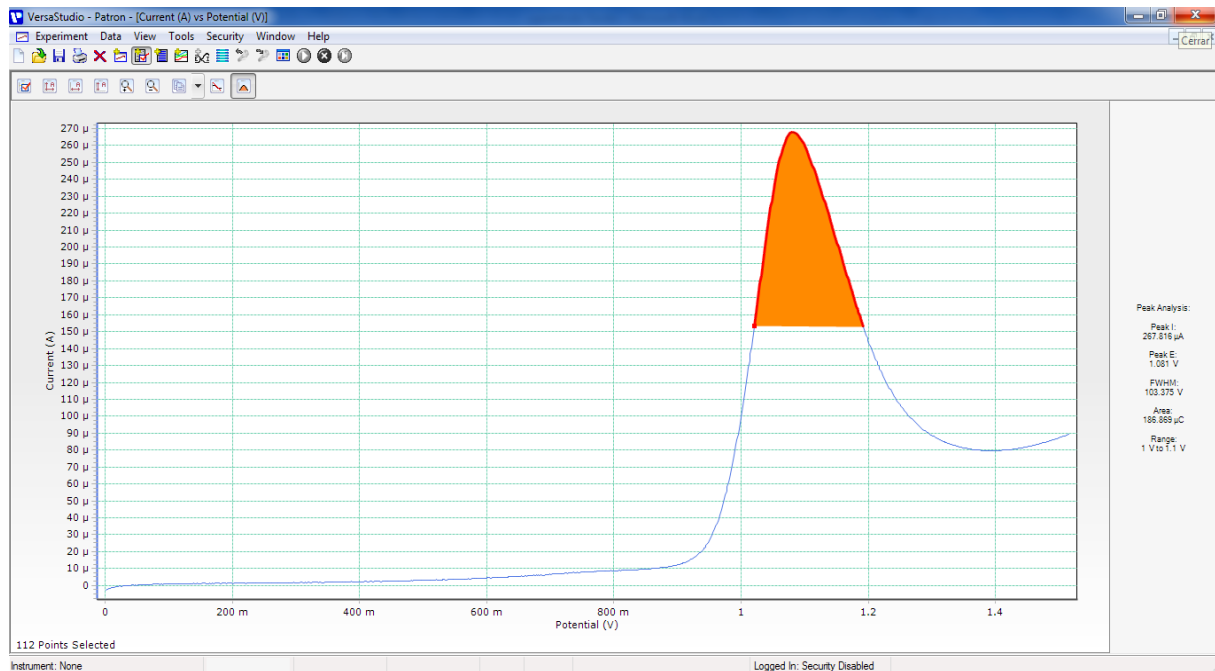


Figura 4. Voltograma de la sustancia patrón de ácido acetil salicílico (AAS)
Fuente: Datos obtenidos mediante un potenciostato Princeton con software Versa Studio.

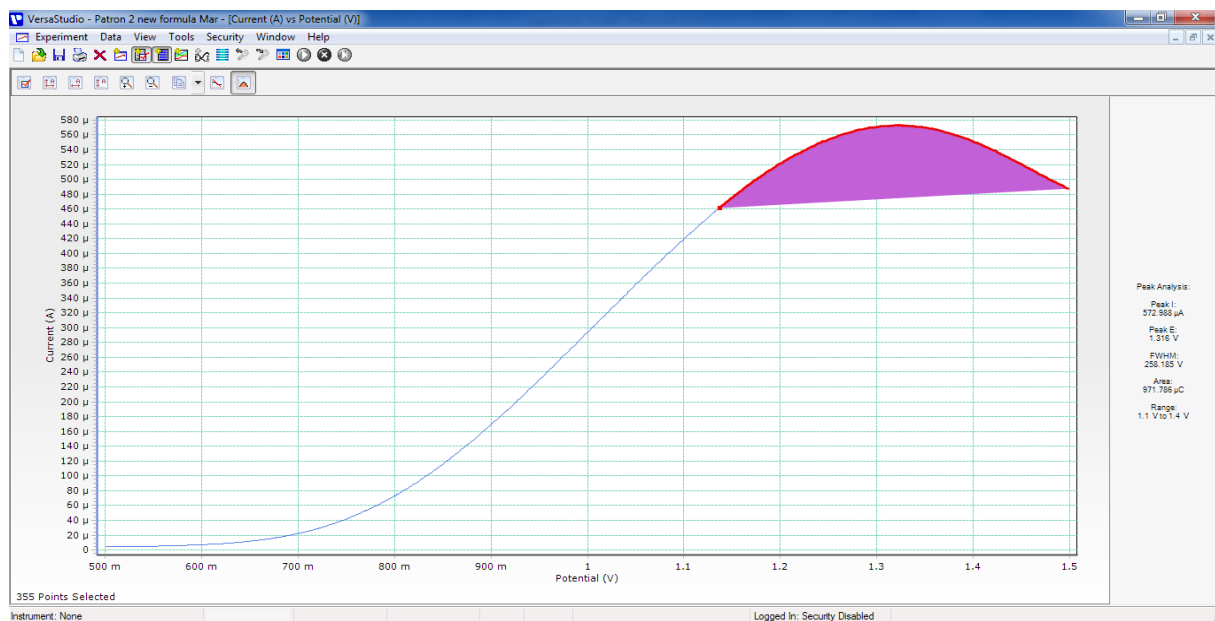


Figura 5. Voltograma de la sustancia patrón de ácido ascórbico (AA)
Fuente: Datos obtenidos mediante un potenciostato Princeton con software Versa Studio.

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DE POTENCIOMETRÍA

Los voltagramas obtenidos por potenciometría, muestran los picos de intensidad de corriente en función del potencial para cada patrón de ácido ascórbico y de ácido acetil salicílico como se muestran en las Figuras 4 y 5.

Se aplicó un voltaje de 0 a 1,5 voltios a un patrón de ácido ascórbico y ácido acetil salicílico previamente preparado, realizando 5 réplicas de cada uno por separado con la ayuda de un

potenciostato para obtener varias intensidades de corriente en μA como se puede apreciar en la Tabla 1 y Figura 6.

En la Tabla 1 se muestra los dos patrones tanto del AAS como el AA con sus respectivas repeticiones, obteniéndose los picos de la intensidad de corriente eléctrica en μA ; con estos datos obtenidos se pudo determinar los estadísticos que se detalladas en la Tabla 2.

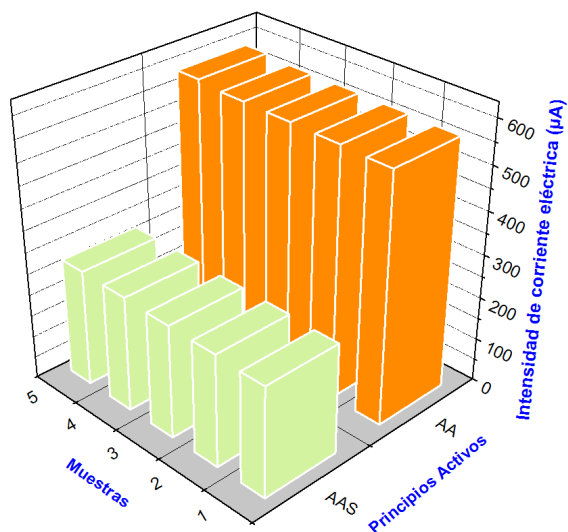


Figura 6. Representación de la intensidad de corriente eléctrica µA de las 5 muestras de patrones de AAS vs AA
Fuente: Datos de AAS vs AA obtenidos mediante un potenciostato Princeton con software Versa Studio, y graficado en Software estadístico Origin.

TABLA 1. RESULTADO DEL POTENCIAL EN MA DE PICOS DE 5 REPETICIONES DE PATRONES DE AA Y AAS

MUESTRA PATRÓN	AAS MA	AA MA
1	256,345	572,988
2	261,252	576,423
3	263,522	578,325
4	267,816	579,552
5	270,883	586,177

Nota: Datos de AAS vs AA obtenidos mediante un potenciostato Princeton, y analizados en Software estadístico Origin.

TABLA 2. RESUMEN DE ESTADÍSTICOS EN AA VS AAS REFERENTE A MEDIDAS DE PICOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE (MA)

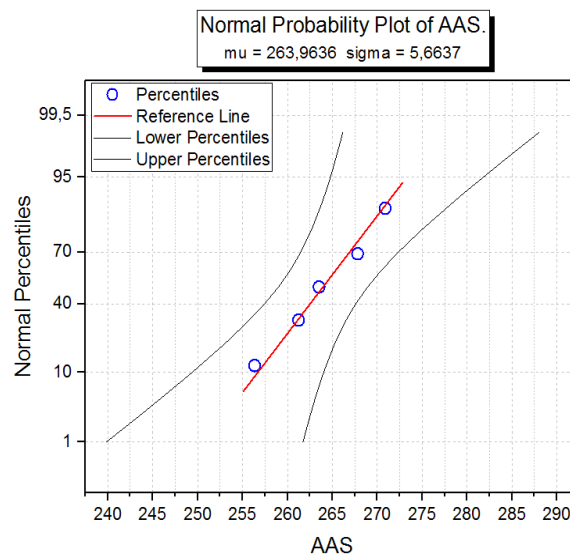
GRUPOS	N	SUMA	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VARIANZA
AAS	5	1319,818	263,9636	5.6637	32,07748
AA	5	2893,465	578,693	4.8627	23,64587

Nota: Datos de AAS vs AA obtenidos mediante un potenciostato Princeton, y analizados en Software estadístico Origin.

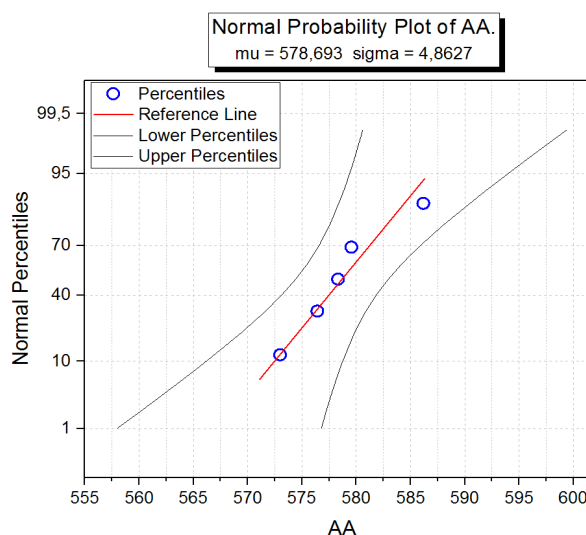
En la Figura 7 se aprecian tanto en a) como en b), que todas las mediciones de intensidad de corriente de AA y de AAS siguen una distribución normal según la ecuación (1), el método de puntuación de Blom y un nivel de confianza de 95%, con una media de 263,964 µA y una desviación estándar sigma = 5.664 para AAS y para AA, con una media de 578.693 µA y desviación estándar sigma = 4.863.

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

µ, media, es el parámetro de localización σ (> 0), desviación estándar, es el parámetro de escala.



a) Prueba de Normalidad de AAS



b) Prueba de Normalidad de AA

Figura 7. Representación de Probabilidad de 5 muestras de patrones de AAS y AA según distribución normal, método de trazo de Blom y un nivel de confianza de 97.5%

Fuente: Datos de AAS vs AA obtenidos mediante un potenciostato Princeton, analizados y graficados en Software estadístico Origin.

La Galvanoplastia es una técnica que cambia superficialmente un material, con el fin de mejorar la estructura y proteger de agentes corrosivos. En esta investigación con el Cobreado, Plateado, Dorado se ha demostrado dicho efecto al igual que otras investigaciones que aplican la electroquímica (Jing & Reichert, 2017; Kashi et al., 2017; Lagos & Camus, 2017; López Badilla et al., 2016; Muñoz Portero, 2016; Ovčačíková, Vlček, Klárová, & Topinková, 2017).

Esta investigación obtuvo voltagramas de AA y AAS basado en investigaciones y publicaciones

de métodos electroquímicos (Belebentseva, Navolotskaya, Ermakov, Moshkin, & Khustenko, 2016; Calvente & Andreu, 2017; Chan, Kätelhön, & Compton, 2017; Sazhina, Misin, Korotkova, Voronova, & Dorozhko, 2014; Tessensohn & Webster, 2016; Yuanyuan, Xinqiang, Niyungeko, Junjie, & Guangming, 2017), por otra parte, (García et al., 2016), también utiliza métodos electroquímicos, y (da Silveira Agostini-Costa, da Silva Gomes, Martins Palhares de Melo, Becker Reifschneider, & da Silva Costa Ribeiro, 2017), como se pudo observar varios investigadores en el mundo de hoy están trabajando con métodos electroquímicos.

CONCLUSIONES

En la presente investigación se puede concluir, que fue posible hacer el cobreado, plateado y dorado, aplicando técnicas electroquímicas de Galvanoplastia, al recubrir 50 piezas metálicas que quedaron con un atractivo brillo. Se observaron los procesos químicos que se producen en los electrolitos al realizar los baños galvánicos en los que se produce una oxidación (ánodo) y reducción en el cátodo.

Se determinaron los picos de intensidad de corriente de Ácido Ascórbico logrando así obtener un Voltagrama por la técnica potenciométrica de voltametría lineal. Se determinaron los picos de intensidad de corriente de Ácido Acetil Salicílico logrando así obtener un Voltagrama por la técnica potenciométrica de voltametría lineal para futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTO

Al grupo de Aplicaciones Electroanalíticas, a Bertha Mazón, Keyla Ajila, Andrea Rojas, Sandy Santana, Fernando Yáñez, Paloma da Silva, sin su aporte este trabajo no hubiese sido el mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, H., García, C., Sánchez, R., Jirón, Y., & Espinoza, W. (2016). Efecto de la adición de ácido ascórbico en la degradación de nitratos y nitritos en mortadela. *CIENCIA UNEMI, Universidad Estatal de Milagro, Vol. 9(20)*, 9, 85-92.
- Belebentseva, M., Navolotskaya, D., Ermakov, S., Moshkin, V., & Khustenko, L. (2016). Interrupted amperometry: An ultrasensitive technique for diffusion current measuring *Electrochimica Acta*, 191, 510-515. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.01.010>
- Calvente, J. J., & Andreu, R. (2017). Intermolecular interactions in electroactive thiol monolayers probed by linear scan voltammetry. *Current Opinion in Electrochemistry*, 1(1), 22-26. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2016.12.006>
- Chan, H. T. H., Kätelhön, E., & Compton, R. G. (2017). Voltammetry using multiple cycles: Porous electrodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 799, 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.05.043>
- da Silveira Agostini-Costa, T., da Silva Gomes, I., Martins Palhares de Melo, L. A., Becker Reifschneider, F. J., & da Silva Costa Ribeiro, C. (2017). Carotenoid and total vitamin C content of peppers from selected Brazilian cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 57, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.12.020>
- Duque, A. G., & Benítez, J. A. (2014). *Proyecto de instalación de una microprensa de electrodeposición de oro, para la producción de bisutería fina (Tesis de Pregrado)*. Instituto Politécnico Nacional.
- García, C., Llanos, M., Mazón, B., Dávila, K., & Cun, J. (2016). Determinación de Vitamina C en pimiento *Capsicum annum* por voltametría de barrido lineal. *Revista TALENTOS, Universidad Estatal de Bolívar, Vol.III N°(2)*, 1-9.
- Ghadimi, H., Tehrani, R., Basirun, W. J., Ab Aziz, N. J., Mohamed, N., & Ab Ghani, S. (2016). Electrochemical determination of aspirin and caffeine at MWCNTs-poly-4-vinylpyridine composite modified electrode. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 65, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.05.043>
- Gómez-Biedma, S., Soria, E., & Vivó, M. (2002). Análisis electroquímico. *Revista de Diagnóstico Biológico*, 51(1), 18-27.
- González, L., Sandoval, M., Gutiérrez, M., Buenrostro, J., & Aguirre, O. (1997). Estudio sobre la precipitación de metales en la industria de galvanoplastia. In *Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales*, 11, Zacatecas, 4-7 nov. 1997. (pp. 1-10).
- González Sánchez, J. A., & Dzib Pérez, L. R. (2015). Introducción a la Electroquímica. *Publicaciones Digitales ENCRYM*, (Problemática y diagnóstico de Sistemas Constructivos con Metales. Estado del Arte), 116-137.
- Jing, C., & Reichert, J. (2017). Nanoscale electrochemistry in the "dark-field." *Current Opinion in Electrochemistry*, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2017.06.008>
- Julve, E. (2009). Historia de la Química Historia de la galvanotecnia y técnicas afines, 105(3), 227-233.
- Kajánek, D., Pastorek, F., Fintová, S., & Bača, A. (2017). Study of Corrosion Behavior of Dicalcium Phosphate-dihydrate (DCPD) Coating Prepared by Large Amplitude Sinusoidal

- Voltammetry (LASV) Technique on ZW3 Magnesium Alloy. *Procedia Engineering*, 192, 399–403. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.069>
- Kashi, M. B., Silva, S. M., Yang, Y., Gonçalves, V. R., Parker, S. G., Barfidokht, A., ... Gooding, J. J. (2017). Light-activated electrochemistry without surface-bound redox species *Electrochimica Acta*. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.08.127>
- Lagos, R., & Camus, J. (2017). El plateado: una actividad electroquímica para integrar diversas ciencias con el arte. *Educación Química*, 28(2), 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.11.004>
- Lara Sandoval, A. E., García Colmenares, J. M., & Chaparro Acuña, S. P. (2015). Validación del método voltamétrico para la determinación de residuos de paraquat aplicado en cultivos de papa. *Acta Agronómica*, 64(4), 336–341. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.44521>
- López Badilla, G., Sánchez Ocampo, C., Paz Delgadillo, J., & Ling López, J. (2016). Análisis de corrosión en aceros con recubrimientos impacta en la competitividad en la industria metalmeccánica de Mexicali. *Investigación Y Ciencia*, 24(69), 39–46.
- Muñoz Portero, M. J. (2016). Extracción de metales por hidrometalurgia: Procesamiento de cobre y cinc Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/68321>
- Nava, J. L., & González, I. (2007). Las técnicas electroquímicas y los electrodos de pasta de carbono en el estudio de los mecanismos de disolución de minerales metálicos. *Boletín Sociedad Química de México*, 1(1), 2–18.
- Ovčáčíková, H., Vlček, J., Klárová, M., & Topinková, M. (2017). Metallurgy dusts as a pigment for glazes and engobes. *Ceramics International*, 43(10), 7789–7796. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.03.091>
- Peña, J. L. J. (2014). Proceso de deposición electroquímica del oro en conectores electrónicos, 10(10), 16–33. <https://doi.org/10.2527/jas2012-5761>
- Petruš, O., Oriňak, A., Orságová Oriňaková, R., Králová, Z., Múdra, E., Kupková, M., & Kovaľ, K. (2017). Colloidal lithography with electrochemical nickel deposition as a unique method for improved silver decorated nanocavities in SERS applications *Applied Surface Science*, 423, 322–330. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.06.149>
- Sandoval, D. S. O. (2013). Construcción, implementación y pruebas de una planta piloto de cobreado, niquelado, cromado, galvanizado, anodizado con sus respectivas guías para el laboratorio de tratamientos superficiales de la facultad de mecánica, 1–177.
- Sazhina, N. N., Misin, V. M., Korotkova, E. I., Voronova, O. A., & Dorozhko, E. V. (2014). ScienceDirect Determination of total antioxidant content in various drinks by amperometry *Procedia Chemistry*, 10(495), 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.013>
- Segura, B., Jiménez, F., & Giraldo, L. (2016). Prototipo de potenciostato con aplicaciones en procesos electroquímicos. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 10(19), 61–69.
- Tessensohn, M. E., & Webster, R. D. (2016). Using voltammetry to measure hydrogen-bonding interactions in non-aqueous solvents: A mini-review. *Electrochemistry Communications*, 62, 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2015.11.006>
- Vilasó, J. (2014). Propuesta de instrumentación voltamperométrica de bajo costo para uso docente en la carrera de Química. *Natura*, 1(1), 14–18. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Yuanyuan, L., Xinqiang, L., Niyungeko, C., Junjie, Z., & Guangming, T. (2017). A review of the identification and detection of heavy metal ions in the environment by voltammetry. *Talanta*. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.08.033>