

# PROCESO ASISTIDO POR ENERGÍA SOLAR EN EL ELECTRO-COBRIZADO DE MATERIALES PARA FINES ARTESANALES

Daniela Ortiz Moreno<sup>1</sup>, Salvador Arturo López Estrada<sup>2</sup>, Diana Elizabeth García

Rodríguez<sup>3</sup> <sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Colima (ia.danielaom@gmail.com)

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato (slopez@itesg.edu.mx),

<sup>3</sup>Universidad de Guanajuato ([dianaelig@gmail.com](mailto:dianaelig@gmail.com))

## RESUMEN

El cobre es uno de los metales más usados por sus características de buena conductividad, resistencia a la corrosión y maleabilidad para la fabricación de tuberías, piezas de construcción, equipos industriales, utensilios, artesanías, entre otros. Uno de los métodos de implementación del cobre a otros materiales es mediante el electrocobizado, el cual es un proceso electroquímico donde cationes metálicos contenidos en una solución se depositan sobre una superficie conductora a través de la aplicación de un potencial eléctrico, formando una capa de electrodeposición de cobre metálico. Dependiendo del pH de la solución y potencial aplicado, permite obtener diferentes coloraciones del cobrizado. En el presente trabajo, se muestran resultados preliminares, del estudio comparativo del proceso de cobrizado sobre superficies de latón, utilizando la red de distribución eléctrica y mediante el uso de paneles fotovoltaicos como una opción viable en la mejora de procesos.

**PALABRAS CLAVE** Electro-cobrizado, Paneles fotovoltaicos, energía solar

---

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Colima. Av. Tecnológico No 1, C.P: 28976, Villa de Álvarez, Colima, Teléfono (01 312) 312-9920.

<sup>2</sup> Salvador Arturo López Estrada, Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato, Coordinación de Ingeniería Industrial, Carretera Guanajuato-Puentecillas km 10.5 Col. Puentecillas, Guanajuato, Gto., C.P. 36262, Tel. (473)7347878

## INTRODUCCIÓN

Los procesos electroquímicos se basan en reacciones oxido-reducción a través de un medio conductor (electrodo), a diferencia de las reacciones redox nuestro principal reactivo es el electrón, la ventaja de utilizar los procesos electroquímicos es acotar hasta cierto punto el alcance y la dirección de la reacción siendo esta un proceso de reducción o de oxidación. Una fuente para suministrar energía eléctrica a estos procesos puede ser la energía fotovoltaica, la cual funciona mediante el efecto fotoeléctrico generando la conversión directa de los fotones provenientes del sol a electricidad mediante una celda policristalina de silicio.

El cobrizado es uno de los procesos electroquímicos más utilizados actualmente en diferentes industrias mediante el cual cationes metálicos contenidos en una solución se depositan sobre una superficie conductora a través de la aplicación de un potencial eléctrico o densidad de corriente determinada, formando una capa de electrodepósito de cobre metálico. En el estado de Guanajuato, como en muchas poblaciones del país, la industria artesanal con cobre es una fuente de ingreso para muchas familias mexicanas, sin embargo, en ocasiones se presentan pérdidas económicas ya que su método es empírico y muchas veces la producción de artesanías presentan fallas en la calidad.

## Métodos y materiales

El estudio realizado para el análisis de un proceso asistido por energía solar en el electrocobrizado de materiales para fines artesanales se realizó en varias etapas, tomando en cuenta desde el análisis de las soluciones a utilizar hasta la aplicación de cobrizado con el uso de paneles fotovoltaicos. Las etapas realizadas son las siguientes

### Estudio termodinámico del sistema $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0$

Desarrollo de diagramas de pourbaix y de fracción para el sistema  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0$ . El análisis de los diagramas muestra las condiciones de concentración, pH y potencial (E) donde se favorece la reacción necesaria para generar el electrodepósito en las superficies metálicas.

### Caracterización electroquímica

Elaboración de voltamogramas cíclicos utilizando un potenciostato (AMEL 2059) soportado en LabView® de soluciones ácidas de  $\text{CuSO}_4$ , con base en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  con variación de pH y concentración, utilizando una celda de tres electrodos, EW (grafito), CE (acero inoxidable) y RE (AgCl), para determinar el potencial y/o densidad de corriente en el proceso de óxido-reducción del sistema  $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}^0$ .

### Análisis comparativo de la electrolisis del sistema $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}^0$ utilizando una fuente de poder y paneles fotovoltaicos.

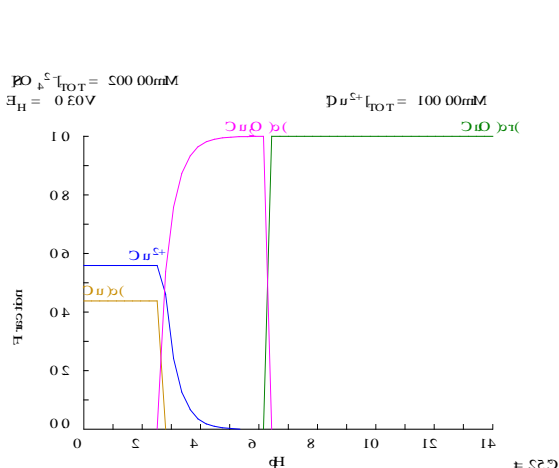
Realizar electrólisis con dos electrodos de láminas de latón en la solución de  $\text{CuSO}_4$  con variaciones de concentración y pH. Las pruebas se realizaron con una fuente de poder y un panel fotovoltaico.

## RESULTADOS

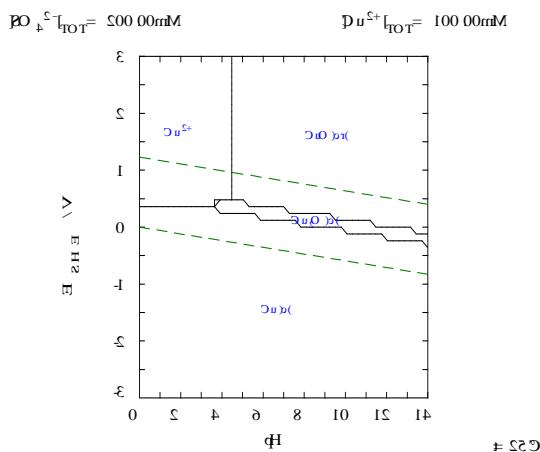
### TERMODINÁMICA DEL SISTEMA $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0$

Antes de desarrollar un estudio experimental de un sistema es necesario analizar su factibilidad termodinámica mediante una simulación a través de un programa que muestra todas las reacciones posibles en base a las especies químicas, el potencial y el pH utilizado.

Mediante el uso del programa MEDUSA ® se generaron dos tipos de diagramas para determinar la termodinámica del sistema  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0$ , uno de ellos es el diagrama de fracción (diagrama 1) que nos permite establecer la zona de predominio de concentraciones de  $\text{Cu}^{2+}$  resultando la que mejor muestra el cambio de  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0$  la realizada con un potencial de 0.3 V y concentraciones de 0.1 M. Esto se puede comprobar con el diagrama de Pourbaix (diagrama 2) realizado en el cual se determina la zona donde la reacción  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^0$  se favorece termodinámicamente siendo ésta a  $E = 0.3\text{V}$  y rango de pH de 0 a 5.



**Diagrama 1.** Muestra la zona de predominio de concentraciones de  $\text{Cu}^{2+}$  con un rango de pH de 0 hasta 6 aplicando un voltaje de 0.3Volts. (Creación propia)



**Diagrama 2.** Muestra la zona donde la reacción  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^0$  se favorece termodinámicamente a  $E = 0.4\text{V}$  y rango de pH de 0 a 5. (Creación propia)

Se puede comprobar que los diagramas generados para el análisis termodinámico del sistema son confiables ya que los datos obtenidos en ellos se apegan a la información obtenida en la bibliografía (Diagrama 3) y en estudios realizados anteriormente, los cuales confirman que el potencial determinado es el correcto para el sistema analizado de  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0$ .

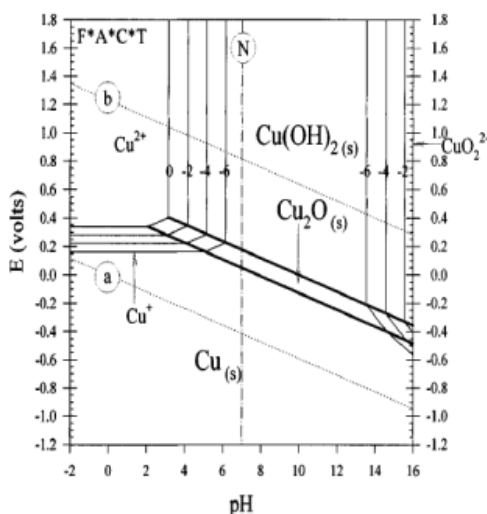


Diagrama 3. Diagrama de Pourbaix del cobre. Tomada de Thomson, W.T., Kaye, M. H., et al. Pág. 131

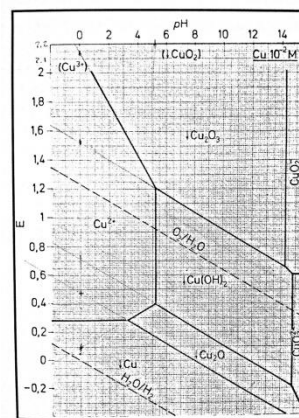


Diagrama 4. Diagrama de Pourbaix del cobre. Tomado de Correa Borroel, A.L. (2003)

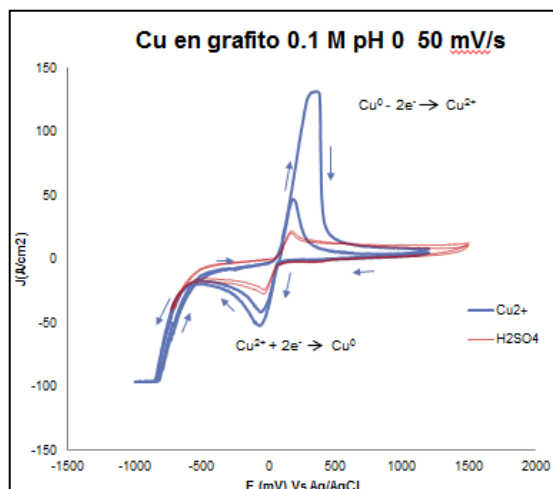
## CARACTERIZACIÓN ELECTROQUÍMICA

Los voltamogramas cíclicos elaborados para la caracterización electroquímica de las sustancias a utilizar se realizaron con un sistema de tres electrodos: CE (acero inoxidable), RE (AgCl) y como electrodo de trabajo se utilizó inicialmente un electrodo de grafito y posteriormente una lámina de latón. El material de interés para realizar el electrodeposito es la lámina de latón, sin embargo con fines de comprobación se realizó la caracterización en electrodos de grafito puesto que ya se conocía con anterioridad el comportamiento del mismo ante un proceso electroquímico en un sistema de Cu. Se obtuvieron los siguientes resultados en los análisis de las sustancias a diferentes concentraciones y pH.

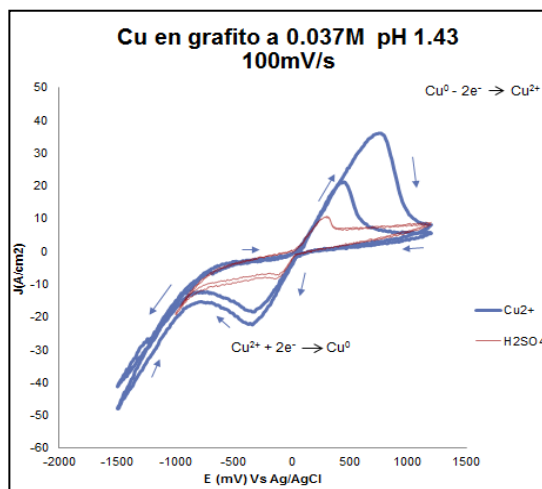
### Electrodo de trabajo de grafito

En base a los diagramas obtenidos se puede observar un comportamiento similar en las dos sustancias analizadas, en las cuales varía la concentración (0.1M y 0.37) y pH (0 y 1.43), demostrando que en ambas se obtiene el proceso de electrodeposito del metal  $\text{Cu}^0$  sobre el electrodo de grafito al presentar una intersección después del punto máximo de reducción (Diagrama 5 y 6). A pesar del comportamiento similar se puede observar que en ambas sustancias el potencial necesario para el punto máximo de oxidación y de reducción así como de la intersección en la cual se confirma la presencia de metal depositado en el electrodo de trabajo.

El estudio también demostró que la velocidad del ciclo hace una pequeña variación en los rangos de oxidación y reducción del sistema. Se analizó el sistema en base a 3 velocidades: 50 mV/s, 100 mV/s, 200 mV/s, obteniendo los mejores resultados en los voltamogramas realizados a 50 mV/s ya que el deposito se adhiere mejor en la superficie del electrodo de trabajo.



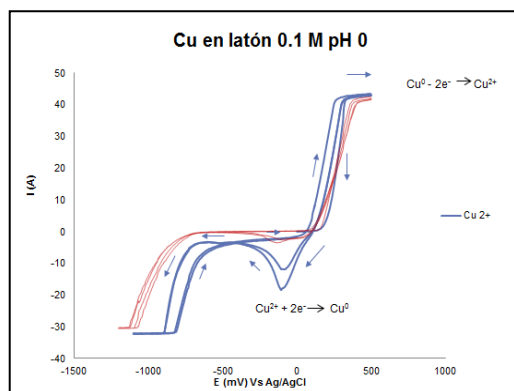
**Diagrama 5.** Voltametría cíclica para  $\text{Cu}^{2+}$  en grafito a 0.1M-y pH = 0 (Creación propia)



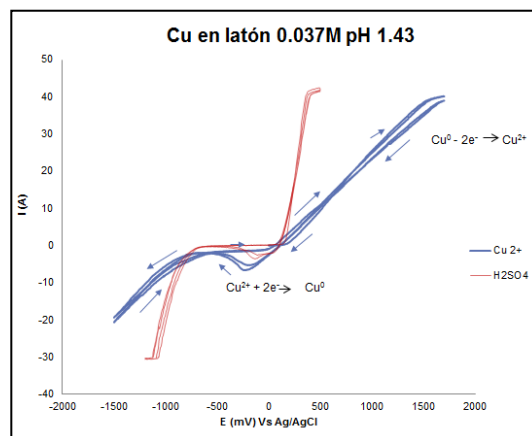
**Diagrama 6.** Voltametría cíclica para  $\text{Cu}^{2+}$  en grafito a 0.037M y pH = 1.43 (Creación propia)

### Electrodo de trabajo de latón (Cu + Zn)

El material de interés a analizar es el latón ya que es el utilizado en la industria artesanal del estado. El rango de potencial utilizado fue de -1500 mV a 500 mV para la sustancia de 0.1M y pH 0 (Diagrama 9) y de -1500 mV a 1500 mV para la sustancia de 0.037 M y pH 1.43 (Diagrama 10). En ambos diagramas se muestra la generación del electrodeposito al presentarse la intersección en un potencial de -500 mV. A diferentes velocidades se presetaron los resultados mostrados en la figura 1 de acuerdo a las diferentes concentraciones y pH manejados a lo largo del experimento, al igual que el grafito la velocidad con mejores resultados en la de 50 mv/s.



**Diagrama 9.** Voltametría cíclica para  $\text{Cu}^{2+}$  en latón a 0.1M-y pH = 0 (Creación propia)



**Diagrama 10.** Voltametría cíclica para  $\text{Cu}^{2+}$  en latón a 0.037M y pH = 1.43 (Creación propia)



Fig. 1. Resultados de la caracterización electroquímica con láminas de latón a diferentes velocidades y pH. (Creación propia)

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ELECTROLISIS DEL SISTEMA $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}^0$ UTILIZANDO UNA FUENTE DE PODER Y PANELES FOTOVOLTAICOS.

Una vez realizada la caracterización electroquímica de las sustancias, se utilizaron las mismas para hacer un análisis comparativo de electrolisis del sistema  $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}^0$  utilizando una fuente de poder y paneles fotovoltaicos. En el cobrizado de las láminas de latón con la fuente de poder a diferentes voltajes, concentraciones y pH se observó que a menor potencial el electrodeposito es más rosado, delgado y estable mientras que a mayor voltaje el color obtenido del cobrizado es más rojizo y su adherencia al metal es menos estable (Fig 2)

Por otro lado al hacer el electrocobrizado con paneles fotovoltaicos el proceso no pudo ser el mismo ya que no se tuvo un regulador de voltaje, por lo que se midió con un voltímetro el potencial que otorgaba el panel al sumergir las láminas de latón en las diferentes sustancias analizadas. Como resultado de este análisis se registró que en sustancias más ácidas el potencial obtenido del panel es menor y el electro depósito es de mejor calidad mientras que a pH más alcalino el potencial registrado es mayor y el cobrizado es más rojizo e inestable (fig. 3). Sin embargo, en ambos casos se demostró que el panel solar otorgó el potencial necesario para realizar el electrocobrizado.

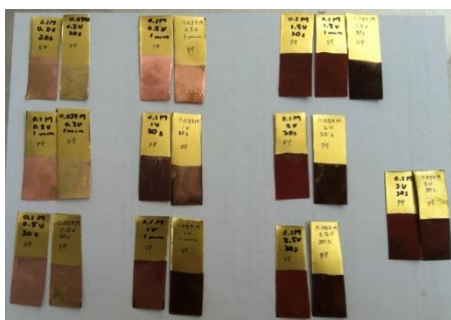


Fig. 2. Resultados de electrocobrizado de láminas de latón con fuente de poder a diferentes voltajes, concentraciones y pH. (Creación propia)



Fig. 14. Resultado obtenido de cobrizado con panel FV a diferentes concentraciones y pH.

Fig. 3. Resultado obtenido de cobrizado con panel FV a diferentes concentraciones y pH.

## CONCLUSIONES

Mediante esta investigación se comprobó, que el uso de paneles fotovoltaicos en el proceso del cobrizado, es una alternativa factible para su realización, por medio de la caracterización electroquímica de materiales es posible encontrar el potencial y la corriente para favorecer la reacción.

Se observó que a pH más alcalino el potencial otorgado por el panel es mayor, lo cual es otra línea de investigación que ayudará a generar un método de electrocobrizado con paneles FV que puedan utilizar a nivel industrial y artesanal.

## REFERENCIAS

- Bard, A.J. (2001) "Electrochemical Methods: Fundamentals and applications" (2da edición) EUA: John & son, inc.
- Biomass Ussee Network, (2002) "Manual sobre energía renovable: Solar fotovoltaica" (1ra. Edición), San José, C.R.: BUN-CA
- Chang, R. (2002) "Química" (7ª edición), Colombia: Mc GrawHill.
- Correa Borroel, A.L. (2003) "Optimización de proceso de cobrizado de la hoja de lata en San Miguel Allende", Universidad de Guanajuato, Facultad de Ciencias Químicas
- Thomson, W.T., Kaye, M. H., et al. (s.f) "Pourbaix Diagrams for Multielement Systems", Canadá: Royal Military College of Canada