

## EXTRACCIÓN DE COBRE A PARTIR DE RESIDUOS DE TARJETAS DE CIRCUITOS IMPRESOS

*Dairo Chaverra<sup>1</sup>\*, Oscar Restrepo<sup>2</sup>*

1: Estudiante de Maestría en Ingeniería: Materiales y Procesos, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia

2: Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia

\*Contacto: dechaverraa@unal.edu.co

### RESUMEN

Se propone una metodología de recuperación de cobre a partir residuos de tarjetas de circuitos impresos (TCI), como un primer aporte a un proceso de reciclaje completo de los residuos electrónicos. El proceso consistió en una reducción de tamaño y clasificación, separación magnética y electrostática, lixiviación con ácido sulfúrico y electroobtención de cobre. La metodología se desarrolló a nivel de laboratorio, obteniendo concentrados con 63 % y 58 % de cobre para las fracciones de tamaño  $0.3 \text{ mm} < T2 < 0.8 \text{ mm}$  y  $0.8 \text{ mm} < T3 < 2.0 \text{ mm}$  respectivamente, con una recuperación promedio del 79 %. Se recuperó cobre con una pureza superior al 99 %.

**Palabras Clave:** *Tarjetas de circuitos impresos, Reciclaje de cobre, Manejo de residuos sólidos, desarrollo sostenible*

### ABSTRACT

A methodology for the recovery of copper from waste printed circuit boards (PCB), as a first contribution to a process of complete recycling of electronic waste is proposed. The process consisted in a size reduction and classification, magnetic and electrostatic separation, sulfuric acid leaching and electrowinning of copper. The methodology was developed at laboratory level. A concentrate containing 63 % and 58 % of copper for the size fractions of  $0.3 \text{ mm} < T2 < 0.8 \text{ mm}$  and  $0.8 \text{ mm} < T3 < 2.0 \text{ mm}$ , respectively, with an average recovery of 79 %, was obtained. Copper more than 99 % pure was recovered.

**Keywords:** *Printed circuit boards, Copper recycling, Solid waste management, Sustainable development*

## 1 INTRODUCCIÓN

Los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) han presentado un rápido desarrollo en las últimas décadas y, de manera proporcional, ha aumentado la cantidad de éstos que se desechan, como consecuencia, el flujo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) está cada vez en crecimiento. Al año se generan entre 20 y 50 millones de toneladas de RAEE mundialmente, con un incremento anual de 3-5 % [1]. Lo anterior constituye un problema ambiental emergente y un desafío en cuanto al desarrollo de tecnologías de proceso sostenibles que sean capaces de hacer

frente al volumen y complejidad de RAEE, con métodos de bajo costo y ecológicamente sensibles [2], [3].

En los últimos años el reciclaje se ha convertido en una alternativa, considerado incluso como la mejor opción [4]. Se empieza con en el desmantelamiento, retiro de elementos peligrosos, reducción de tamaño por medio de molinos de cuchillas y pulverizadores, y concentración por medio de procesos gravimétricos, separación magnética y electrostática, entre otros, [5]–[7]. Todos estos procesos se hacen con el fin de liberar los metales unidos o encapsulados con resina y cerámicos. Son procesos adecuados desde el punto de vista ambiental [8].

Se han utilizado procesos de alta temperatura, los cuales presentan como inconvenientes la emisión de contaminantes y la formación de escorias con contenido múltiple de metales de donde es complicada la recuperación final [9]. En la última década la atención se ha centrado en los procesos acuosos, los cuales representan una opción prometedora debido a los relativos bajos costos de capital, reducidos impactos ambientales, potencial para recuperaciones altas de metales, y son métodos adecuados para su aplicación a pequeña escala [1]. Las principales propuestas consisten en lixiviaciones usando agua regia, cianuro, tiosulfato, tiourea o haluros [4], [10], [11]. Para la extracción de cobre se han estudiado diferentes procesos en solución acuosa empleando ácido sulfúrico [12], cloro [11], [13], [14], ácido nítrico y extracción por solventes [9], [15], soluciones de amonio-sulfato [16], [17], con recuperaciones de cobre superiores al 71 % .

En este trabajo se desarrolló e implementó un proceso para la recuperación de cobre a partir de tarjetas de circuito impreso (TCI) de residuos electrónicos. Se realizó utilizando procesos físicos y mecánicos propios del procesamiento de minerales, junto con técnicas químicas de la metalurgia extractiva. El proceso se plantea como una alternativa viable para la recuperación de cobre a partir de los RAEE aportando de esta manera a la solución del problema de disposición final de los residuos electrónicos, además de la preservación de recursos escasos y limitados.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el desarrollo experimental, se procesaron 4300 g de material conformado por tarjetas de video, placas base, módem, módulos de memoria RAM y tarjetas controladoras de disco duro. Se tomaron partes de distintas marcas comerciales como muestra representativa. Se tomaron tres muestras de cada corriente resultante en todo el proceso, se disolvieron en agua regia y el análisis de cobre se hizo por espectrofotometría de absorción atómica con un equipo AA Spectrometer iCE 300 SERIES Thermo SCIENTIFIC. La lámina de cobre obtenida en el proceso de electroobtención fue sometida a análisis de FRX con un equipo Bruker S1 TurboSD Handheld XRF Spectrometer.

### **2.1 Reducción de tamaño y clasificación**

En primer lugar se realizó una reducción de tamaño manualmente haciendo uso de una cizalla para corte de láminas metálicas, obteniéndose partículas de tamaño máximo de 1 cm<sup>2</sup>. Posteriormente, el material fue pasado una vez por un pulverizador Braun Direct Driven Pulverizer UD32, el cual opera a 400 rpm, para lograr la reducción de tamaños deseada, que, según Zhang & Forssberg [18], debe ser hasta un tamaño máximo de partícula de 2 mm para obtener una liberación del 99 % del cobre. El material se clasificó en tres tamaños de partícula:

T1 < 0.3 mm, 0.3 mm < T2 < 0.8 mm y 0.8 mm < T3 < 2.0 mm. Cada fracción de tamaño se procesó separadamente con el fin de evaluar la dependencia del tamaño de partícula en los procesos físicos de concentración.

## 2.2 Separación magnética y electrostática

Cada fracción de tamaño se procesó en el separador magnético para eliminar especies ferrosas. Aprovechando diferencias en conductividad eléctrica, se procesó la fracción no ferrosa en el separador electrostático para eliminar especies no conductoras y obtener un concentrado metálico. Para la prueba se utilizó el separador magnético Carpco Model MIH(13)111-5 Laboratory High-Intensity Induced-Roll Magnetic Separator, operado a una velocidad de rodillo entre 120 rpm y 125 rpm, con una intensidad de corriente de 1.0 A. Para la clasificación electrostática, se utilizó el equipo Laboratory Electrostatic High-Tension Separator de Carpco con una intensidad de 20 KV DC y 10 KV AC y velocidad de rotación del tambor de 50 rpm.

## 2.3 Lixiviación y electroobtención

El cobre fue lixiviado en una solución diluida de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Se utilizó H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como agente oxidante. La prueba se realizó con 70 g del material concentrado T2 (44 g Cu), utilizando 1.5 L de solución 0.7 M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y 60 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50 %, según la reacción de disolución de cobre metálico dada por  $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ; la lixiviación fue realizada a una temperatura de operación de 35 °C y con una agitación mecánica de 620 rpm. La prueba se hizo durante 120 min; a los 60 min de iniciada la prueba, se adicionó una cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (15 mL) equivalente al 50 % del estequiométrico. Esta prueba se hizo en un beaker de vidrio de 2 L de capacidad sobre una plancha IKA C-MAG HP 10 y con un agitador Heidolph RZR 2102 control. Para el proceso de electroobtención, se construyó una celda electrolítica en acrílico y con una capacidad de 270 cm<sup>3</sup>. Se utilizó como cátodo una placa de acero 304 con un área total de 36 cm<sup>2</sup>. Para los dos ánodos se utilizaron placas de plomo comercial. La prueba se realizó durante 60 min con una densidad de corriente fija de 222 A/m<sup>2</sup> suministrada por una fuente BK PRECISION High Current DC Regulated Power Supply Model 1796.

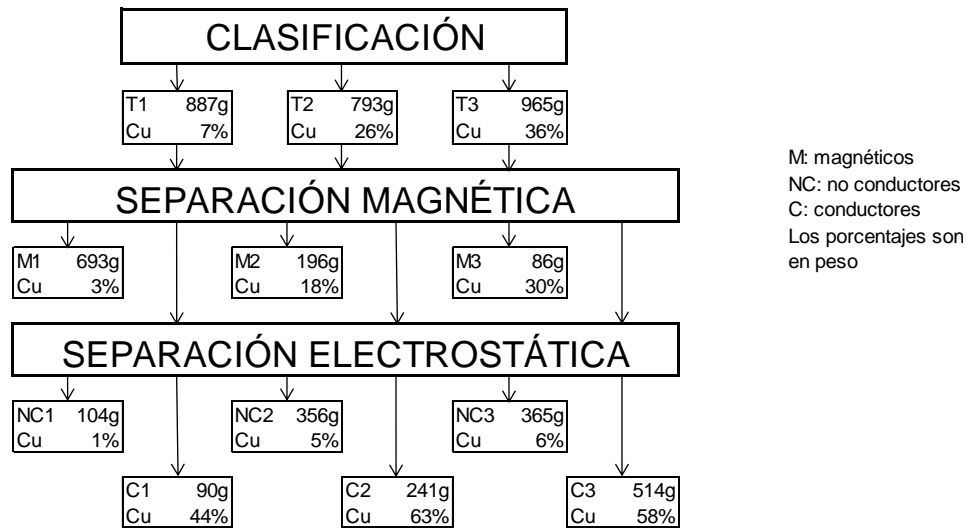
## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Reducción de tamaño

Se obtuvo en el proceso de pulverización un material con un 90 % pasante malla 10, es decir, menor a 2.0 mm. Además el 33 % es menor a 0.3 mm. Este resultado demuestra que con un solo pasaje por el pulverizador se obtienen buenos resultados.

### 3.2 Separación magnética y electrostática

Los resultados obtenidos en el proceso de concentración mediante separación magnética y electrostática, se resumen en la Figura 1. Se muestra además el contenido de cobre en cada una de las tres fracciones de tamaño de partícula.



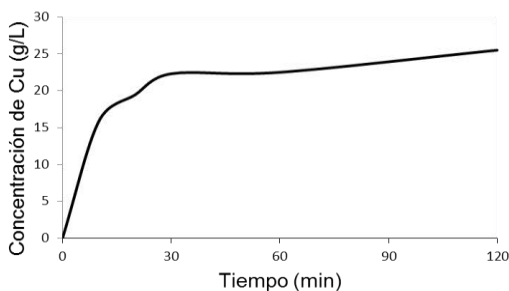
**Figura 1.** Resultados de la concentración magnética y electrostática.

Como resultado del proceso de separación magnética y electrostática, se obtienen dos concentrados de cobre de 63 % para la fracción T2 y 58 % para T3. Estas concentraciones de cobre son muy parecidas, lo cual indica que no es necesario separar el material en estas dos fracciones de tamaño y se puede, en cambio, tomar una sola fracción entre 0.3 mm y 2.0 mm.

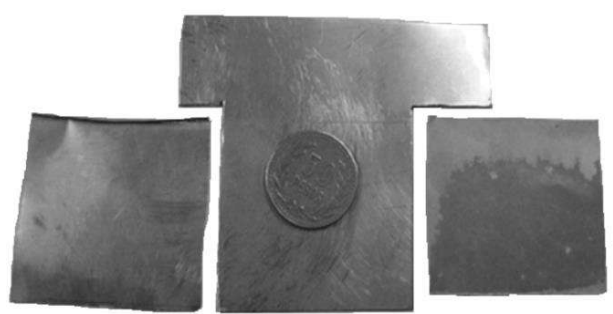
La recuperación de cobre en el proceso de concentración por separación magnética y electrostática fue de 63 %, 73 % y 85 % para las fracciones de tamaño T1, T2 y T3, respectivamente. Aunque estas recuperaciones son altas, se debe mejorar aún más esta etapa para que sea una excelente alternativa en el proceso de extracción del cobre de los residuos de TCI.

### 3.3 Lixiviación y electroobtención

El resultado del proceso de lixiviación se presenta en la Figura 2. A las dos horas de lixiviación, se obtiene una concentración de cobre 25 g/L, equivalente al 87 % del total del cobre en la muestra. A los 30 min la recuperación de cobre es del 78 % y la lixiviación solo se reanuda a partir de los 60 min debido a que se agregó más peróxido de hidrógeno. Es necesario, para una mejor recuperación, agregar paulatinamente pequeñas cantidades de peróxido de hidrógeno, puesto que tiende a evaporarse y además permite un incremento de temperatura al reaccionar con el ácido sulfúrico en la solución.



**Figura 2.** Curva de lixiviación.



**Figura 3.** Depósito de cobre.

Se obtuvo una lámina de cobre, Figura 3, con una masa de 0.92 g. La lámina de cobre obtenida presenta uniformidad en su superficie, producto de una buena cristalización del cobre. Los análisis de FRX reportaron un contenido promedio de cobre del 99.3 %, e impurezas menores de hierro y plata principalmente. Este resultado muestra la viabilidad y selectividad del proceso de electroobtención para la recuperación del cobre a partir de la solución obtenida en el proceso de lixiviación.

#### 4 CONCLUSIONES

Los procesos físicos de concentración magnética y electrostática son una buena alternativa para la extracción de cobre a partir de las TCI, logrando una recuperación promedio del 73 %. Por otro lado, son adecuados debido a que no generan contaminación, pues no hay emisión de material particulado ni efluentes con sustancias peligrosas.

Luego de un proceso de filtración se obtiene el cobre mediante electroobtención, pudiendo recircular las soluciones al proceso de lixiviación. Del residuo sólido se puede recuperar otros metales como oro y plata. Se obtiene cobre sin refinar con una pureza superior al 99 %.

La recuperación total del proceso fue del 68 %, lo que indica que este proceso que utiliza operaciones físicas y químicas propias del procesamiento de minerales, es una alternativa viable para la recuperación de cobre a partir de residuos de TCI, reduciendo los problemas de disposición final de los residuos electrónicos.

#### 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A. Tuncuk, V. Stazi, A. Akcil, E. Y. Yazici, and H. Deveci, "Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling," *Miner. Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 28–37, 2012.
2. M. Saidan, B. Brown, and M. Valix, "Leaching of electronic waste using biometabolised acids," *Chin. J. Chem. Eng.*, vol. 20, no. 3, pp. 530–534, 2012.
3. A. Das, A. Vidyadhar, and S. P. Mehrotra, "A novel flowsheet for the recovery of metal values from waste printed circuit boards," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 53, no. 8, pp. 464–469, 2009.
4. Y. J. Park and D. J. Fray, "Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards," *J. Hazard. Mater.*, vol. 164, no. 2–3, pp. 1152–1158, 2009.
5. C. Guo, H. Wang, W. Liang, J. Fu, and X. Yi, "Liberation characteristic and physical separation of printed circuit board (PCB)," *Waste Manag.*, vol. 31, no. 9–10, pp. 2161–2166, 2011.
6. I. O. Ogunniyi and M. K. G. Vermaak, "Investigation of froth flotation for beneficiation of printed circuit board comminution fines," *Miner. Eng.*, vol. 22, no. 4, pp. 378–385, 2009.

7. H. M. Veit, T. R. Diehl, A. P. Salami, J. S. Rodrigues, A. M. Bernardes, and J. A. S. Tenório, "Utilization of magnetic and electrostatic separation in the recycling of printed circuit boards scrap," *Waste Manag.*, vol. 25, no. 1, pp. 67–74, 2005.
8. H. M. Veit, A. M. Bernardes, J. Z. Ferreira, J. A. S. Tenório, and C. de F. Malfatti, "Recovery of copper from printed circuit boards scraps by mechanical processing and electrometallurgy," *J. Hazard. Mater.*, vol. 137, no. 3, pp. 1704–1709, 2006.
9. H. Long Le, J. Jeong, J.-C. Lee, B. D. Pandey, J.-M. Yoo, and T. H. Huyunh, "Hydrometallurgical process for copper recovery from waste printed circuit boards (PCBs)," *Miner. Process. Extr. Met. Rev.*, vol. 32, no. 2, pp. 90–104, 2011.
10. D. Pant, D. Joshi, M. K. Upreti, and R. K. Kotnala, "Chemical and biological extraction of metals present in E waste: A hybrid technology," *Waste Manag.*, vol. 32, no. 5, pp. 979–990, 2012.
11. E.-Y. Kim, M.-S. Kim, J.-C. Lee, and B. D. Pandey, "Selective recovery of gold from waste mobile phone PCBs by hydrometallurgical process," *J. Hazard. Mater.*, vol. 198, pp. 206–215, 2011.
12. P. Quinet, J. Proost, and A. Van Lierde, "Recovery of precious metals from electronic scrap by hydrometallurgical processing routes," *Miner. Met. Process.*, vol. 22, no. 1, pp. 17–22, 2005.
13. Z. Ping, F. ZeYun, L. Jie, L. Qiang, Q. GuangRen, and Z. Ming, "Enhancement of leaching copper by electro-oxidation from metal powders of waste printed circuit board," *J. Hazard. Mater.*, vol. 166, no. 2–3, pp. 746–750, 2009.
14. E. Kim, M. Kim, J. Lee, J. Jeong, and B. D. Pandey, "Leaching kinetics of copper from waste printed circuit boards by electro-generated chlorine in HCl solution," *Hydrometallurgy*, vol. 107, no. 3–4, pp. 124–132, 2011.
15. A. Mecucci and K. Scott, "Leaching and electrochemical recovery of copper, lead and tin from scrap printed circuit boards," *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 77, no. 4, pp. 449–457, 2002.
16. K. Koyama, M. Tanaka, and J.-C. Lee, "Copper leaching behavior from waste printed circuit board in ammoniacal alkaline solution," *Mater. Trans.*, vol. 47, no. 7, pp. 1788–1792, 2006.
17. J.-G. Yang, Y.-T. Wu, and J. Li, "Recovery of ultrafine copper particles from metal components of waste printed circuit boards," *Hydrometallurgy*, vol. 121–124, pp. 1–6, 2012.
18. S. Zhang and E. Forssberg, "Mechanical separation-oriented characterization of electronic scrap," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 21, no. 4, pp. 247–269, 1997.