



## PROTOTIPO PARA LA OBTENCIÓN DE COBRE APLICANDO LOS PRINCIPIOS DE LA ELECTRÓLISIS

Luisa José Tapia<sup>a</sup>, Guadalupe Escartín González<sup>b</sup>, Nuria Guadalupe Delgado Zapata<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos 2° Miguel Bernard” Instituto Politécnico Nacional. Av. Nueva Casa de la moneda 133, Lomas de Sotelo, 11200. Miguel Hidalgo, Ciudad de México.

<sup>b</sup>Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos 2° Miguel Bernard” Instituto Politécnico Nacional. Av. Nueva Casa de la moneda 133, Lomas de Sotelo, 11200. Miguel Hidalgo, Ciudad de México.

<sup>c</sup>Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos 2° Miguel Bernard” Instituto Politécnico Nacional. Av. Nueva Casa de la moneda 133, Lomas de Sotelo, 11200. Miguel Hidalgo, Ciudad de México.

### ARTICLE INFO

**Received:** 5 September 2022

**Accepted:** 16 October 2022

**Available on-line:** 30 November 2022

**Keywords:** Prototipo, electro obtención, cobre, electrolisis.

**E-mail addresses:** [nuriadz@gmail.com](mailto:nuriadz@gmail.com)

ISSN 2007-9847

© 2022 Institute of Science Education.  
All rights reserved

### ABSTRACT

This project presents the development of a prototype based on the application of the principles of electrolysis to obtain metals with a sustainable approach. The prototype aims to contribute to the recovery of metals such as existing copper in electronic waste that is generated day by day thanks to the advancement of new technologies and that as a consequence makes existing devices obsolete, becoming waste. During this process, a stainless steel electrolytic cell was designed and manufactured that would allow the electrochemical process to be carried out, and based on a series of theoretical foundations and the variables that intervene in the process that were based on a documentary investigation based on the laws of Faraday, the composition of electronic cards, the electrodeposition of copper, the leaching of metals in electrolytic solutions, this in conjunction with various technical and economic studies that allowed the prototype of the process to be properly put into operation.

En este proyecto se presenta el desarrollo de un prototipo que se basa en la aplicación de los principios de la electrolisis para la obtención de metales con un enfoque sustentable. El prototipo pretende coadyuvar en la recuperación de metales como el cobre existente en los desechos electrónicos que se generan día con día gracias al avance de las nuevas tecnologías y que como consecuencia dejan obsoletos los dispositivos ya existentes convirtiéndose en desechos. Durante este proceso se diseñó y fabricó una celda electrolítica de acero inoxidable que permitiera llevar a cabo el proceso electroquímico, y con base en una serie de fundamentos teóricos y las variables que intervienen en el proceso que se fundamentaron con una investigación documental basada en las leyes de Faraday, la composición de tarjetas electrónicas, la electrodeposición de cobre, la lixiviación de metales en soluciones electrolíticas esto en conjunto con diversos estudios técnicos y económicos que permitieron poner en funcionamiento el prototipo del proceso adecuadamente.

### I. INTRODUCCIÓN

El electro obtención es un proceso electroquímico que se utiliza para recuperar cobre, este proceso se lleva a cabo en celdas electrolíticas y con la aplicación del electrólisis que puede ser efectuada gracias a la propiedad física de conducción

eléctrica de los metales permite mover los iones de cobre de los ánodos a los cátodos para obtener la máxima pureza posible.

Se busca desarrollar una celda electrolítica para la refinación de cobre proveniente de residuos electrónicos; la celda tendrá como propósito recuperar el metal con el mayor nivel de pureza posible, a partir de los desechos y desperdicios electrónicos provenientes de tarjetas madre de diversos dispositivos, para poder darle una nueva aplicación o uso; teniendo como base los fundamentos teóricos de las leyes de Faraday y la electro refinación de metales.


Globalmente, la demanda del cobre crece día con día, y con ello deben surgir nuevas tecnologías que permitan obtenerlo con la mejor calidad posible, el permanecer actualizados de cómo múltiples factores ayudan a seguir satisfaciendo la demanda de este metal en la industria. Sin embargo, al no tener las tecnologías más eficientes para este y otros procesos del cobre, se puede ver afectada la producción del mismo o se ve limitada la obtención de productos con grandes cualidades.

Este proyecto teórico – práctico se llevó a cabo durante el ciclo escolar 2022-2, con el fin de poder crear un proceso de electro obtención de cobre con base en los planteamientos teóricos impartidos en la carrera de Metalurgia. Con el objetivo de implementar el proceso de manera práctica en las unidades de aprendizaje de Recubrimientos de superficie y Metalurgia en el CECyT 2 del IPN.

Este proyecto es conveniente para realizar, ya que los materiales empleados para su desarrollo podrán seguir siendo utilizados a largo plazo. Principalmente este proceso sirve para la obtención de cobre electrolítico con un elevado grado de pureza.

El propósito de este proyecto es la fabricación de un prototipo funcional del proceso de electro obtención, que resulte beneficioso para los alumnos de metalurgia, de esta manera podrán complementar los conocimientos que hayan adquirido a lo largo del curso, con el desarrollo de la práctica. Se realiza porque se busca facilitar su comprensión para ser aplicado en Recubrimientos de superficie y metalurgia., donde puedan observar y realizar la práctica comprendiendo a detalle todo lo que la involucra. Como ya se ha mencionado, de manera concreta, ayudará a resolver un problema práctico que se presenta actualmente en el taller de metalurgia, el cual es que no se cuenta con los elementos necesarios para el desarrollo del mismo creando así un proceso nuevo en el taller.

## II. MATERIALES Y EQUIPO

Material / Equipo	Especificaciones técnicas	Imagen
Tarjetas electrónicas	Tarjetas de desechos Contenido de componentes metálicos Cantidad: las recolectadas o donadas para el proceso	

Celda electrolítica	Medidas: 20x30x30 cm Material: Acero inoxidable Cantidad: 1pz	
Barras conductoras	Medidas: 36 cm de largo 4 cm de diámetro Material: Cobre Cantidad: 2pz	
Material aislante	Medidas: 5x5x5 cm Material: Goma o plástico Cantidad: 2pz	
Fuente de corriente eléctrica	Capacidad mínima de 30V o 10 A Cantidad: 1pz	
Cables conductores	Medidas: Largo 250 cm, espesor 3cm Cantidad: 2pz	
Caimanes eléctricos	Caimán tipo acumulador color rojo y negro Medidas: 7.5 cm de largo Cantidad: 2pz	
Cátodo	Diámetro: 10 mm / 0,39 " Longitud: 100 mm / 3,93 " Material: grafito, plomo, cobre Cantidad: 1pz c/u	
Ánodo	Medidas: 4x2x4 cm Material: cobre Cantidad: 3pz	

### III. DESARROLLO DEL PROCESO

#### Trituración de las tarjetas electrónicas

- Se trituran las tarjetas electrónicas, se separan sus componentes, se recolecta la mezcla de metales que estas contienen y se reserva la mezcla de metales que posteriormente se utilizan como lixiviados en el electrolito.

#### Preparación del electrolito

- Se agrega 4 litros de agua a la cuba electrolítica, posteriormente se pesan y agregan 200 gramos de ácido sulfúrico al 98% por cada litro de agua, se añade el ácido lentamente y se revuelve con movimientos circulares.
- Posteriormente se pesan y agregan 50 gramos de escamas sulfato de cobre II, por cada litro de disolución, se revuelve lentamente para disolverlas por completo.
  - Se agrega la mezcla de metales recolectada de las tarjetas electrónicas a la cuba y después se le vierte la disolución preparada anteriormente.

#### Preparación de los electrodos

- Se preparan los electrodos, los ánodos de grafito se limpian con un paño seco y los cátodos de cobre son sometidos a limpieza química o si es necesario limpieza mecánica.

#### Medición de peso y espesores del cátodo

- Antes de montar el cátodo en la celda se pesará en un bascula analítica y se media el espesor con un micrómetro, se anotarán los datos recolectados.

#### Ensamblado de la cuba

- Se les coloca un alambre de cobre a los electrodos y se cuelgan en los bastidores de cobre de la cuba electrolítica, en cada barras se conectan los cables de la fuente de corriente eléctrica, el ánodo se conectará al polo positivo y el cátodo al polo negativo, se verifica que los electrodos estén completamente sumergidos en el electrolito.

#### Encendido de la corriente

- Una vez que los electrodos y los cables están conectados adecuadamente se enciende la fuente y se coloca a 12.5 V o 1.25 A, se deja trabajar por un determinado tiempo.

#### Apagado y recolección de resultados

- Al finalizar el tiempo establecido se apaga la corriente eléctrica y se retira el cátodo del electrolito, posteriormente se enjuaga y se deja reposar diez minutos.
- Posteriormente se procede a pesar y medir el espesor del cátodo, después se realizan los cálculos necesarios para determinar la masa de cobre electrodepositado y el espesor aumentado.

## IV. DISEÑO

El diseño general es el boceto del prototipo con base en una idea principal que surgió durante el inicio de este proyecto, tiene como propósito presentar de forma gráfica el aspecto final del prototipo el cual es una celda electrolítica, que servirá como medio para poder llevar a cabo el proceso de electro obtención de cobre.

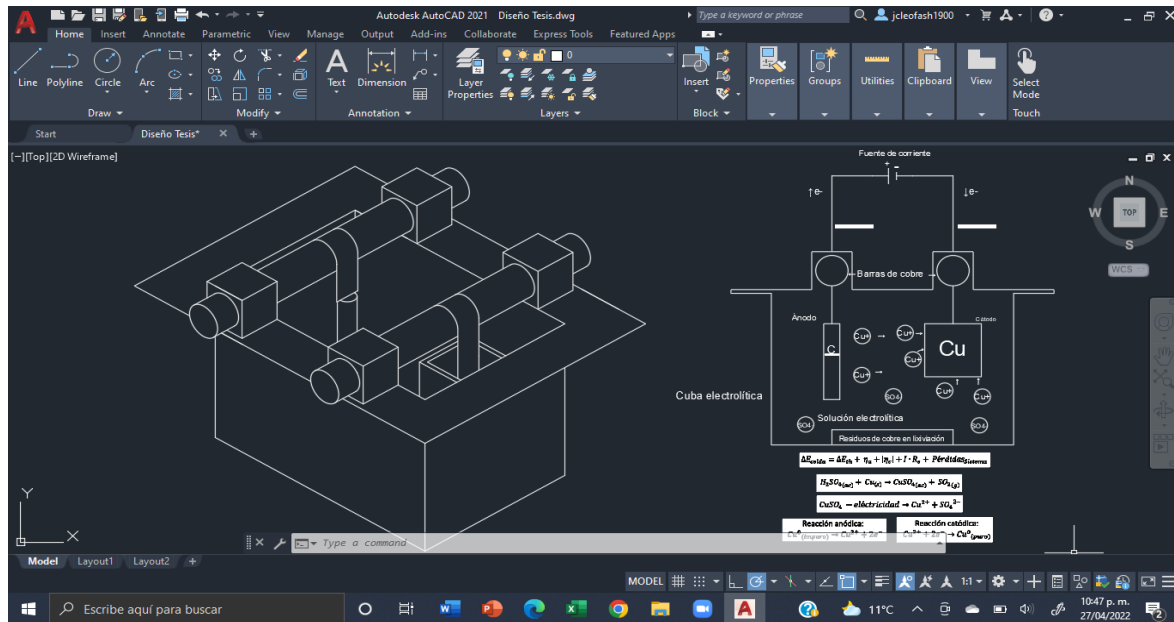


Figura 1. Diseño general de la celda electrolítica.

## V. CONSTRUCCIÓN

La animación es la representación gráfica en 3D del prototipo, este tiene el fin de presentar el prototipo terminado y en funcionamiento para poder pre visualizar cómo será el prototipo una vez finalice la construcción, como se realizará el ensamble y la puesta en marcha de este, con el fin de evitar errores o fallos en el diseño que afecten o interfieran en el funcionamiento.

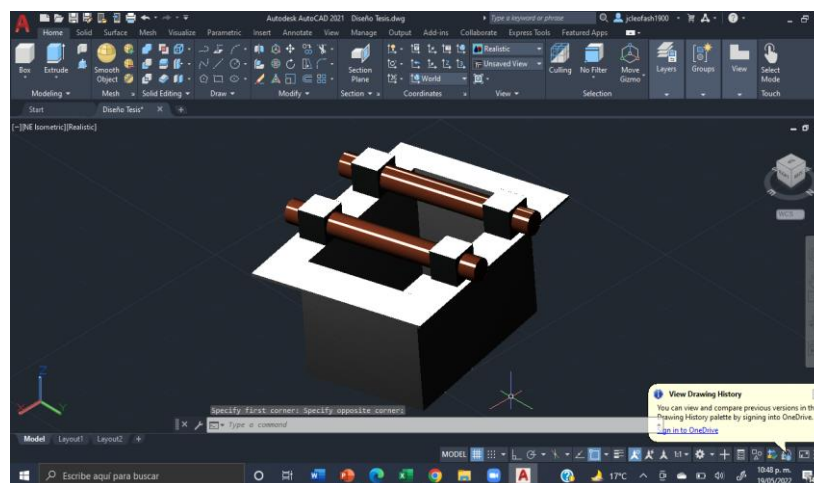


FIGURA 2. Modelo en 3D

## VI. PROCESO

El electro obtención es un proceso el cual consiste en recuperar el metal desde una solución de lixiviación debidamente acondicionada y depositarlo en un cátodo, donde se utiliza un proceso de electrolisis. Para ello se hace circular a través de la solución electrolito, una corriente eléctrica continua de baja intensidad entre un ánodo y un cátodo. De esta manera, los iones del metal de interés son atraídos por el cátodo depositándose en él y las impurezas quedan disueltas en el electrolito y también precipitan en residuos o barros anódicos. (CODELCO, 2019).

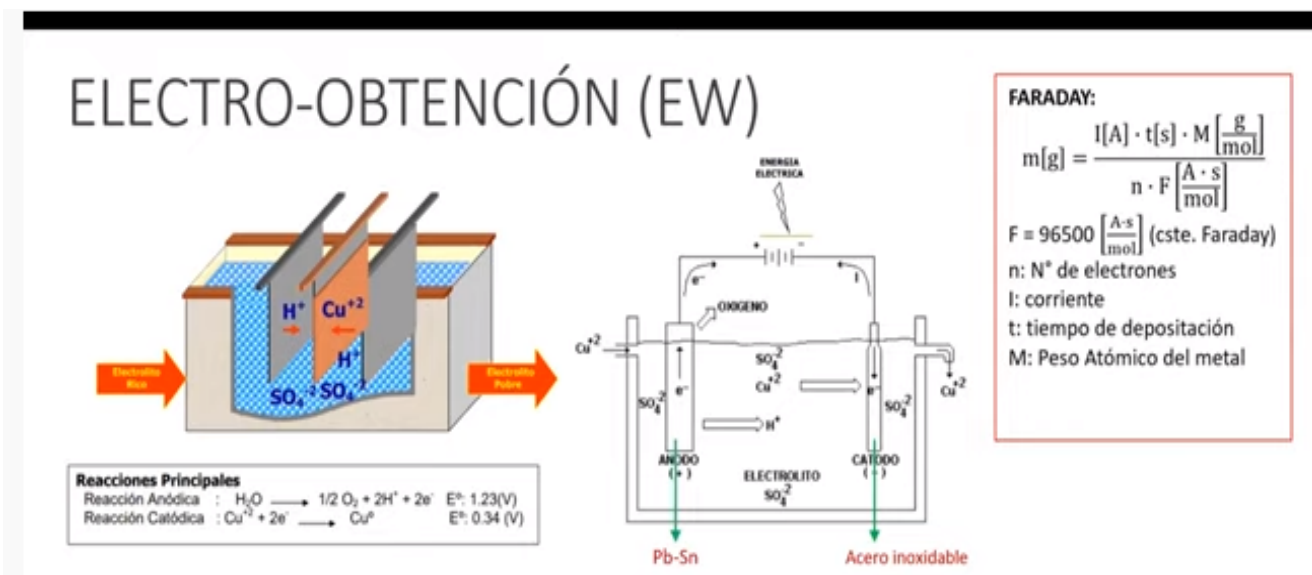
La lixiviación es el proceso en que un líquido disolvente se pone en contacto con un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno de los componentes del sólido, en este caso el cobre (EcuRed, s. f.).

El electro obtención es un proceso de gran importancia económica, ya que permite la recuperación de metales, como cobre, oro y plata, a partir de recursos lixiviales que de otra forma serían inviables.

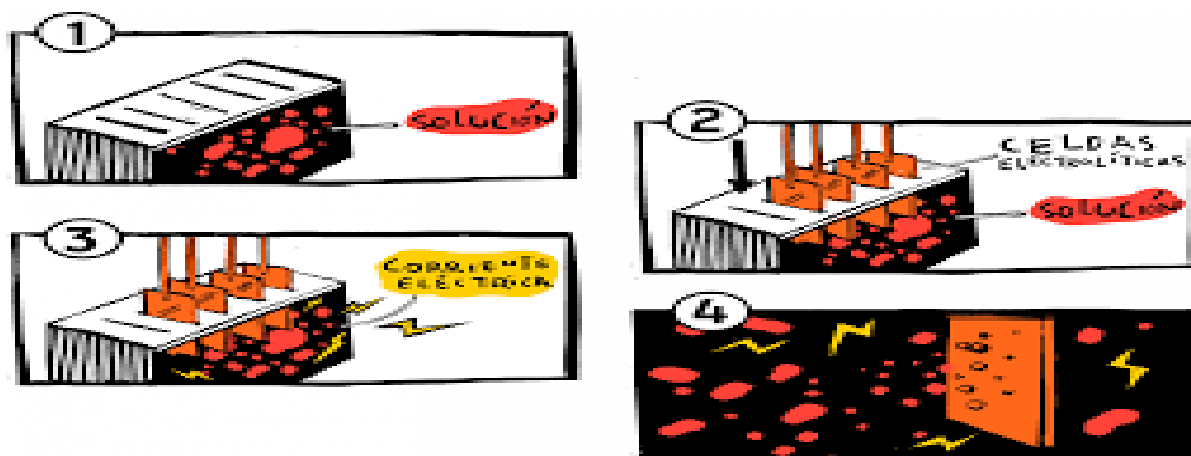
El electro obtención, también suele ser conocida como electrodeposición, y actualmente es considerado como uno de los procesos actuales más sencillos para la recuperación de cobre contenido en soluciones líquidas. Este proceso de basa en la electrometalurgia para la recolección del metal, es decir, utiliza la electricidad para atraer las partículas de cobre.

El proceso de electro obtención de cobre constituye la etapa terminal del proceso de beneficio de “minerales oxidados y mixtos de cobre”. El cobre es depositado desde soluciones purificadas por medio de una electrolisis directa. El objetivo de este proceso es producir cátodos de cobre de alta pureza, para ello, la solución que proviene de la etapa de lixiviación es purificada y concentrada en cobre en la planta de extracción por solventes, después es conducida a una serie de celdas de electrodeposición donde se producen los cátodos de cobre con una pureza de 99.99%.

Figura 3. Celdas de electrodeposición de cobre.



La solución electrolítica proveniente de la lixiviación, y que contienen el sulfato de cobre, es trasladada a las celdas electrolíticas o de electro obtención, estas celdas disponen en su interior ánodos, por donde entra la corriente; y cátodos por donde sale la corriente eléctrica. Posteriormente se hace circular la corriente eléctrica de muy baja intensidad entre el ánodo y el cátodo. Mediante la electrolisis, los iones de cobre presentes en la solución de sulfato de cobre son atraídos por la carga negativa del cátodo y se depositan en él (CODELCO, 2018).

**FIGURA 4.** Proceso de electro obtención de cobre.

*Proceso de electro obtención de cobre CODELCO, (2018). Ilustración, Recuperado 2022 de <https://www.codelcoeduca.cl>*

## VI. GRADO DE INNOVACION

La innovación de este prototipo es aplicar este proceso a los desechos electrónicos que existen en la actualidad ya que son un gran problema medioambiental debido al alto nivel de contaminación que ocasionan, debido a que conforme avanza la tecnología los productos electrónicos ya existentes se vuelven obsoletos, por lo que se convierten en desechos y cada vez hay mayores cantidades de ellos.

Se modificó también este proceso en vez de utilizar las tarjetas como ánodos en los que se da la reacción de oxidación, se utilizaron diferentes materiales como ánodo que permiten que se realicen dos reacciones de oxidación una en el ánodo y otra en el producto lixiviado, el producto lixiviado es la adición de la mezcla de metales que contienen las tarjetas al electrolito, esto con el propósito de facilitar que haya más cationes en la disolución, por lo que habrá a su vez mayor concentración de producto electro depositado en el cátodo, siendo más eficiente.

## VII. FACTIBILIDAD

Se realizaron los planos, guías de operación, animación y construcción del prototipo de celda electrolítica, para poder desarrollar el proceso de electro obtención de cobre proveniente de residuos de tarjetas electrónicas, con el fin de aportar con este proyecto un apoyo de sustentabilidad ambiental reduciendo los desechos existentes para disminuir el impacto de los mismo, con este propósito se realizaron diferentes pruebas modificando y alterando los parámetros que intervienen el proceso para poder analizar los resultados obtenidos, así determinar cuáles son las condiciones más favorables que permiten obtener resultados satisfactorios y aplicarlos directamente; finalizando las pruebas del proceso aplicando el prototipo se obtuvieron resultados satisfactorios por lo que determinamos que es un proyecto factible.

Se logró determinar los costos directos y totales del proyecto realizado. Los resultados obtenidos para comprobar la viabilidad y factibilidad económica de una celda electrolítica demostraron que las inversiones realizadas en el proyecto son accesibles siendo la cantidad final de \$2,807 MXN permitiendo que sea un proyecto costeable.

## VIII. CONCLUSIONES

Con este proyecto se logró desarrollar un prototipo para la enseñanza en el cual se pudo comprobar que la recuperación de metales valiosos puede llevarse a cabo mediante la recolección de distintos residuos de tarjetas electrónicas, aplicando un proceso electroquímico bajo ciertas condiciones de operación, se obtienen buenos resultados utilizando las celdas de electro obtención convencionales en términos de eficiencia de corriente y consumo específico de energía.

Finalmente, al realizar el prototipo del proceso para obtención de cobre se puede considera que el electro obtención del cobre es factible tanto económicamente, como en el mercado, ya que su ganancia es mayor y realmente se reutilizo el material que se tomaba como “desecho”, que son las tarjetas electrónicas. Se tuvo algunas complicaciones a la hora de diseñar la celda electrolítica, desde las medidas de esta, hasta el lugar de donde fabricarla y algunos materiales necesarios para el proceso, debíamos encontrarlos en un lugar específico, con las características necesarias. La construcción de la celda con todos los elementos necesarios se realizó en base a diversos estudios de factibilidad técnica y económica, a la hora de efectuar el proceso se consiguió el resultado deseado que era el cobre puro, listo para ser usado nuevamente. El prototipo logra ser sustentable debido a que se recuperan metales de gran valor comercial a partir de desechos electrónicos contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional y a la SIP por el apoyo para la realización de esta investigación a través de proyecto con clave SIP 20210406.

## REFERENCIAS

- Alsimet. (2021). *Procesos metalúrgicos industriales: pirometalurgia, hidrometalurgia y electrometalurgia* Alsimet. Recuperado 2022, de <http://alsimet.es/es/noticias/procesos-metalurgicos-industriales-pirometalurgia-hidrometalurgia-y-electrometalurgia>
- Calderón, I. J. T. C. C. (2015). *METALES PRECIOSOS EN RESIDUOS ELECTRÓNICOS PARA SU REFINERIA EN EL ECUADOR*. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2015/03/residuos-electronicos.pdf>
- CODELCO. (2011). *Usos del cobre*. Recuperado 2022, de [https://www.codelco.com/usos-del-cobre/prontus\\_codelco/2011-06-03/223706.html](https://www.codelco.com/usos-del-cobre/prontus_codelco/2011-06-03/223706.html)
- CODELCO. (2018). *Electroobtención*. CODELCO EDUCA. Recuperado 2022, de [https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109001022/escolares\\_\\_electroobtencion.pdf](https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109001022/escolares__electroobtencion.pdf)
- CODELCO. (2019). *Electroobtención*. CODELCO EDUCA. Recuperado 2022, de <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1060/course/section/1242/Bloque%201.pdf>
- CUBA, C. B. (2016). *Zenteno Cuba*. Obtenido de Electro Obtención de Cobre: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4623/Zenteno%20Cuba.pdf?sequence=1>
- DINCORSA. (2017). *Conoce los principales usos del cobre*. Recuperado 2022, de <https://www.dincorsa.com/blog/conoce-principales-uso-cobre/>
- Dunning, D. (2017). *¿Qué materiales se utilizan para hacer las computadoras?* Recuperado 2022, de Techlandia. [https://techlandia.com/materiales-utilizan-computadoras-lista\\_93316/](https://techlandia.com/materiales-utilizan-computadoras-lista_93316/)
- EcuRed. (s. f.). *Lixiviación*. Recuperado 2022, de <https://www.ecured.cu/Lixiviacion%C3%B3n>
- Flores, O. M. (2021). *Cobre*. Minería en Línea. Recuperado 2022, de [https://mineriaenlinea.com/metales/cobre-14/#x2139xfe0f\\_Que\\_es\\_el\\_Cobre](https://mineriaenlinea.com/metales/cobre-14/#x2139xfe0f_Que_es_el_Cobre)
- Henríquez, J. (2016). *Mitigación y Detección de Anomalías en Sistemas de Distribución de Corrientes en Hidrometalurgia de Cobre*. (Tesis de doctorado). Universidad de Concepción. Recuperada de [http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/2163/3/Tesis\\_Mitigacion\\_y\\_Deteccion\\_de\\_anomalias.pdf](http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/2163/3/Tesis_Mitigacion_y_Deteccion_de_anomalias.pdf)

InElectronic. (2020). *¿Qué es una tarjeta electrónica?* Recuperado 2022, de <http://inelectronic.com/que-es-una-tarjeta-electronica/>

México minero. (s. f.). *México Minero | Cobre*. mexicomintero.org. Recuperado 2022, de <https://mexicomintero.org/tipos-de-minerales/cobre/>

Núñez Jiménez, E. (1997). *Guía para la preparación de proyectos de servicios públicos sociales*. Obtenido de Estudio económico: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/3/1430/8.pdf>

Palomo, C. A. (10 de 02 de 2009). *Seminario de Investigación*. Obtenido de Estudio de Mercado Técnico: <https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/Fulltext/ADRS0000666/C4.pdf>

Prado Recicle. (2021). *¿Que son Las tarjetas electrónicas?* Chatarra electrónica. Recuperado 2022, de <https://chatarraelectronicaguadalajara.com/blog-post/que-son-las-tarjetas-electronicas/>

U.A.S.L.P. (2015). *Obtención parciales completos*. Recuperado 2022, de <http://www.ingenieria.uaslp.mx/Metalurgia/Documents/APUNTES/OBTENCION%20PARCIALES%20COMPLETO S.pdf>

Vera, L. M. I. V. (2007). *Química general*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura Universidad Nacional del Nordeste. Recuperado 2022, de [https://exa.unne.edu.ar/quimica/quimgeneral/temas\\_parciales/unidad\\_10\\_Electroquimica2007.pdf](https://exa.unne.edu.ar/quimica/quimgeneral/temas_parciales/unidad_10_Electroquimica2007.pdf)