

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
METALÚRGICO**

**“DISEÑO DE UNA CELDA PARA LA ELECTRODEPOSICIÓN DE COBRE A
NIVEL DE LABORATORIO”**

PRESENTADO POR:

RODRIGO ALEXIS AGUILAR ROMERO

ASESOR:

ING. ISRAEL NARVASTA TORRES

CIP N° 146766


ISRAEL NARVASTA TORRES
INGENIERO QUÍMICO
CIP 146766

HUACHO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

DISEÑO DE UNA CELDA PARA LA ELECTRODEPOSICIÓN DE COBRE A NIVEL DE LABORATORIO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción de la realidad problemática	2
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivo Específicos.....	3
1.4. Justificación de la investigación	3
1.5. Delimitación del estudio	3
Capitulo II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.1.1. Antecedentes Internacionales	5

2.1.2. Antecedentes Nacionales	8
2.2. Bases Teóricas	10
2.2.1. Electrodeposición de Metales	10
2.2.2. Historia de la Electrodeposición	13
2.2.4. Celdas Electrolíticas	23
2.4. Definiciones Conceptuales	25
2.4. Formulación de la Hipótesis	27
2.4.1. Hipótesis General	27
2.4.2. Hipótesis específicas.....	27
2.4.3. Operacionalización de las variables	28
Capítulo III: METODOLOGÍA.....	30
3.1. Diseño metodológico.....	30
3.1.1. Tipo de investigación.....	30
3.1.2. Nivel de investigación	30
3.1.3. Diseño	30
3.2. Población y Muestra	32
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	32
3.4.1. Técnicas empleadas	32
3.4. Técnicas para el procesamiento de información.....	32
Capítulo IV: RESULTADOS	33
4.1. Determinación de los electrodos a emplear	33

4.2. Determinación de Factores que influyen en el proceso de electrodeposición.....	34
4.3. Diseño y construcción de la celda de electrodeposición.....	36
4.3.1. Diseño de la celda de electrodeposición.....	36
4.3.2. Construcción de la celda de electrodeposición.....	37
4.4. Funcionamiento de la celda de electrodeposición.....	41
4.4.1. Armado de la celda de electrodeposición.....	41
4.4.2. Evaluación de la celda de electrodeposición.....	46
4.4.3. Resultados obtenidos de la evaluación celda de electrodeposición...	47
Capítulo V: DISCUSIÓN.....	48
Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
5.1. Conclusiones.....	49
5.2. Recomendaciones.....	49
Capítulo VI: FUENTES DE INFORMACIÓN.....	51
6.1. Bibliografía.....	51
ANEXOS.....	53
Anexo 01: Cálculos para el porcentaje de eficiencia de la celda de electrodeposición.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aplicaciones de la electroquímica.....	11
Tabla 2. Operacionalización de las variables	29
Tabla 3. Masa de cobre depositada en ambos ensayos.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-Influencia de la corriente de deposición en la morfología del depósito formado (Tomado de CRSC, 1944 - página 176)	19
Figura 2. Curvas I vs t para la reducción de metal M y protón en solución para electrodeposición (Tomado de Industrial Electrochemistry - Derek Pletcher y Frank C. Walsh, 2ª edición, Chapman y Hall, 1990).....	22
Figura 3. Dimensiones del cátodo de acero a emplear dentro de la cuba de electrodeposición.....	33
Figura 4. Cuba de vidrio con el fin de simular el proceso de Electrodeposición.	37
Figura 5.Cátodo de acero empleado en la electrodeposición	38
Figura 6. Lamina de plomo para utilizarlo en la electrodeposición.	39
Figura 7.Electrodos ubicados en la cuba electrolítica	40
Figura 8.Disolución del H ₂ O destilada con el CuSO ₄	42
Figura 9.Fuente de Poder.....	43
Figura 10.Celda de electrodeposición lista para utilizar.....	44
Figura 11.Conexiones de cables a la fuente de alimentación.....	45
Figura 12. Evaluación de la cuba con condiciones optimas	46

RESUMEN

El posterior proyecto presenta como meta primordial diseñar de manera adecuada y optima una celda de electrodeposición a escala de laboratorio, con la finalidad de que sea empleada e utilizada para futuros proyectos en el laboratorio de ingeniería química de la UNJFSC. El diseño de la cuba es lo más similar a una celda de electrodeposición Industrial con la finalidad de obtener cobre a una alta pureza.

Para diseñar de manera adecuada el prototipo de celda eficiente y optima que presente una obtención de cobre mayor al 90%, se debe conocer los minerales de cu que se utilizara, esto más que todo debido a que hoy en día existe óxidos de cobre, así mismo también determinar los parámetros más relevantes con la finalidad de poder emplear una mayor eficiencia al mecanismo de electrodeposición, estos parámetros se determinaron a través de una exhaustiva revisión bibliográfica, los cuales se detallan en el apartado de marco teórico.

Lo primero que se realizo fue determinar los parámetros más influyentes dentro de la electrodeposición de cobre, para posteriormente trabajarlo con un mayor responsabilidad, seguidamente se comenzó a determinar las dimensiones de la cuba de electrodeposición cuyas dimensiones fueron de 10 cm x 12 cm x 15 cm, los cuales son adecuados para colocar los electrodos, referente a los electrodos se emplearon como cátodo el acero y como ánodo el plomo, las dimensiones de ambos fueron de 5 cm x 0.1 cm x 10 cm, los cuales fueron conectado de manera directa a una fuente de poder la cual llevaba un amperaje de 1.2 amperios y un voltaje de 1.9 volts, durante tiempos de 40, 80 y 120 minutos, los resultados obtenidos posterior a la electrodeposición indicaron que la cuba presenta un rendimiento del 72 % en función a la obtención de cobre.

Palabras clave: Electrodeposición, cobre, electrodos y cuba electrolítica.

ABSTRACT

The subsequent project presents as its main objective the adequate and optimal design of a laboratory-scale electrodeposition cell, to be used and used in future projects in the chemical engineering laboratory of the UNJFSC. The tank design is the most similar to an industrial electroplating cell to obtain high purity copper.

In order to properly design the efficient and optimal cell prototype that presents a copper obtaining of more than 90%, it is necessary to know the Cu minerals that will be used, this more than all because today there are copper oxides, as well as to determine the parameters more relevant to be able to use a greater efficiency to the electroplating mechanism. These parameters were determined through an exhaustive bibliographic review, which are detailed in the theoretical framework section.

The first thing that was done was to determine the most influential parameters within the electrodeposition of copper, to then work it with greater responsibility, then the dimensions of the electrodeposition tank will begin to be determined in the dimensions were 10 cm x 12 cm x 15 cm, the which are suitable for placing the electrodes, as for the electrodes, steel was used as the cathode and lead as the anode, the dimensions of both were 5 cm x 0.1 cm x 10 cm, which were connected directly to a source of feeding. power that carried an amperage of 1.2 amps and a voltage of 1.9 volts, during times of 40, 80 and 120 minutes, the results obtained after the electrodeposition indicated that the tank presents a yield of 89% depending on the obtaining of copper.

Keywords: Electrodeposition, copper, electrodes and electrolytic cell.

INTRODUCCIÓN

Actualmente a nivel nacional la minería es una actividad de vital importancia respecto a la economía en el Perú, debido a que este sector ha sido pieza clave en el crecimiento del país. Presente hasta el día de hoy en el sector minero es indispensable en función a la economía nacional, debido a que el país posee un 62,4% de ingresos extranjeros referentes a las exportaciones mineras, dicho estudio es mencionado por el Banco Central del Perú.

No obstante, dentro del sector minero Perú es uno de los mayores productores de cobre a nivel mundial, y cada año que pasa aumenta su producción, por ende debido a la gran demanda de cobre existente en el país, se vi en la necesidad de desarrollar e implementar en el laboratorio de química de la UNJFSC un proceso denominado electrodeposición, con la finalidad de brindar así un conocimiento empírico de cómo es realizado el mecanismo a nivel de laboratorio, debido a que se conoce solamente de manera teórica, por lo que diseñando y construyendo la celda de electrodeposición brindara un amplio conocimiento a los alumnos de la universidad.

Algunas de las condiciones importantes que se deben tener en cuenta para llevar a cabo un correcto proceso de electrodeposición, son principalmente la celda y las placas que serán utilizadas como cátodo y ánodos, como en este proceso de EO se utiliza corriente para llevarlo a cabo, deben tener las dimensiones de ambas placas con el fin saber que cantidad de corriente debe ser utilizada, además de estos factores, hay otros que pueden afectar directamente la eficiencia del proceso, como lo son el control de impurezas, la temperatura, la dosificación de los reactivos y el tiempo de cosecha de cátodos.

Capítulo 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Hoy en día tanto a nivel mundial como a nivel local, la minería está calificada como uno de los trabajos con mayor eficiencia respecto al desarrollo económico de un País, debido a que brinda una gran cantidad de trabajo, una elevada recaudación de impuestos tanto para la municipalidad y por ende ingresos respecto a las exportaciones generadas en nuestro país, No obstante, esta labor también presenta impactos negativos, los cuales son la polución generada por esta misma actividad laboral.

Actualmente nuestro país, es minero, por ende la acción laboral dentro de la minería es de vital importancia ya que brinda su respaldo hacia la economía, de acuerdo a datos estadísticos indican que el país, es gran productor de Oro, plata, cobre y Zinc, estando en segundo puesto respecto a la producción de Cu en todo el mundo, no obstante, debido a problemas existentes con las pobladores de la región por el impacto negativo que la actividad genera en la agricultura, se ha estancados muyos planes mineros, brindando así una elevada tasa de no empleo dentro de la área minera.

Para el mecanismo de extracción del Cu, se ha estado empleado durante los últimos años dos mecanismos, esto obviamente es de acuerdo si el mineral de cobre posee sulfuro u oxido. Si el Cu es trasladado desde sulfuros se aplica el mecanismo de Pirometalurgia, brindando así una polas de ripio que presentan compuesto sulfuraos de baja ley. No obstante, si provienen de óxidos se emplea el mecanismo de lixiviación, en el cual consiste la extracción del Cu a través de disolventes y para posteriormente se aplica un mecanismo electroquímico con el fin de obtener el Cu.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo diseñar una celda para la electrodeposición de cobre a nivel de laboratorio?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los tipos de electrodos a emplear y las dimensiones que presentan para la electrodeposición del cobre?
- ¿Cuáles son los factores que influyen en el mecanismo de electrodeposición de cobre?
- ¿Cuál es el rendimiento que presente la celda de electrodeposición respecto a la extracción de cobre?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Diseñar una celda para la electrodeposición de cobre a nivel de laboratorio

1.3.2. Objetivo Específicos

- Determinar los tipos de electrodos a emplear y las dimensiones que presentan para la electrodeposición del cobre.
- Hallar los factores que influyen en el mecanismo de electrodeposición de cobre.
- Determinar el rendimiento que presente la celda de electrodeposición respecto a la extracción de cobre.

1.4. Justificación de la investigación

La investigación actual presenta su justificación en la solución de la problemática generada dentro de las industrias mineras respecto a la recuperación de Cu ocasionada dentro del mecanismo de lixiviación, generando así que el compuesto obtenido puede ser aprovechado de manera óptima y adecuada con otros fines.

1.5. Delimitación del estudio

La investigación será efectuada y realizada dentro de los recintos de la UNJFSC, durante un periodo de 5 meses, en el año 2021. La investigación será empleada como base

para la concientización del uso óptimo y adecuado respecto a la electrodeposición del Cu, dentro de la ciudad de Huacho.

Capítulo II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

De acuerdo con (Hernandez P. A., 2006) en su investigación efectuada, concluyo lo siguiente:

- Es viable desarrollar de manera adecuada la obtención de Cu en una cuba empleada en electrodiálisis, utilizando un cátodo de Cu, el Fe^{2+} se convierte en Fe^{3+} a través de la oxidación, empleando un ánodo de grafito. No obstante, a ciertos parámetros de operación, se logran obtener datos con una efectividad mayor en comparación a los obtenidos dentro de las cubas de electro obtención básicas en función al fluido de corriente y gasto de corriente eléctrica.
- En un ejemplo base se obtuvo que la celda poseía una tensión aproximada de 2.49 V, una eficacia eléctrica del 97% y un gasto de corriente aproximadamente de 2.37 kWh/kg de Cu. Examinando de manera directa los datos que presentan los accesorios que representan la tensión de la cuba en las diversas circunstancias de operación, se da por concluido que los parámetros que presentaban más gasto dentro del proceso era la disminución de tensión en los dos electrolitos. Ambos electrolitos presentan una suma aproximadamente del 55% de la tensión general de la cuba.
- Respecto al ejemplo base, una disminución aproximada del 32% en función a la relación masa sobre volumen de electricidad origino una reducción del 16% de la tensión de la cuba. Por lo consecuente el gasto exacto de energía disminuyo en más del 19%.
- La consecuencia de la T° es la más predominante en función a los más estudiados dentro de la investigación, respecto a su eficiente energética y la

eficacia eléctrica que brinda cada cuba con un cátodo estático. La utilización de la T° dentro de un rango de 28°C y 35°C en función a los electrolitos brinda un gasto de energía general de 5.02 y 3.46 kWh/kg de Cu, así mismo también presento una disminuida eficacia de fluido eléctrico. No obstante, al utilizar el mecanismo con disoluciones a una T° de 50°C se registraron los datos óptimos en función al flujo de corriente eléctrica respecto a todos los ensayos realizados, brindando así un gasto aproximado de energía de 1.5 kWh/kg de Cu y una eficacia de fluido eléctrico de 97%.

- De manera global, la utilización de diversos mecanismos de agitación dará un reducido gasto de energía y por ende una elevada eficacia de fluido eléctrico. No obstante, los ensayos 7 y 9 indican de manera directa que una agitación exagerada, generara una pérdida de la eficacia de la cuba, esto es generado a partir de diferentes fenómenos originados por el diseño de la división catalítica. El ensayo base consiguió los más óptimo resultados en función al gasto de energía y eficacia del fluido eléctrico, por supuesto con una recirculación de las mismas disoluciones rondando los 1000 cm³ por minuto y una rapidez de rotación de 39 RPM.
- Finalmente, es necesario indicar que a diversas condiciones la cuba con el cátodo móvil presenta un rendimiento óptimo y los gastos que genera en función a la electricidad son reducidos, sin embargo, es de vital importancia considerar otros parámetros con el fin de determinar o estimar cuál es su real posicionamiento en función a las cubas tradicionales. Algunos parámetros para considerar son el efecto que originan las impurezas dentro de los electrolitos y por ende los gastos que se necesitan al someterlo a elevadas

temperaturas, finalmente también es importante acotar el uso del cátodo a una gran escala.

Según (Leludak, 2013) en su investigación realizada, indico las siguientes conclusiones:

- Durante este año de trabajo científico se superaron varias etapas con las más diversas dificultades. Al principio, la emoción fue grande debido a las diversas ideas y opciones que la mente recorrió en pocos segundos, y a este ritmo de emoción, con poco estudio y lectura bibliográfica, se inició el ensamblaje de prototipos para la verificación de la teoría. En el primer prototipo se pudieron notar algunos problemas y dificultades, lo que desencadenó una serie de acciones correctivas.
- Luego de las acciones correctivas, la celda comenzó a diseñarse en software 3D, una fase compleja que requirió mucho tiempo, pero resultó en un gran proyecto y 396 FAE - Centro Universitario | Núcleo de Investigación Académica - NPA facilitó enormemente el progreso del resto del estudio, al final, fue un gran momento para dedicar tiempo y esfuerzos.
- El siguiente paso, que fue la compra de materiales y montaje de la celda final, fue una parte facilitada por el paso anterior, no generó muchas dificultades. Al final de esta etapa, aún quedaba la agradecida satisfacción de observar el funcionamiento del proyecto. La mayor complicación que enfrentó durante todo el proceso fue la parte de escritura.
- Después de todo, se dedicó mucho tiempo al área práctica del proyecto, incluso porque era un proyecto experimental. La escritura, entonces, terminó por dejarse para la etapa final, cuando fue muy difícil reunir toda la

información sin dejar pasar nada. La búsqueda de autores que pudieran apoyar nuestra práctica no fue una tarea fácil.

- Transferir todo el conocimiento adquirido durante el trabajo a un informe resultaba muy confuso, incluso para saber cómo organizar y dónde ubicar cada información dentro del informe. El resultado fue muy satisfactorio, el valor encontrado para la producción horaria de gas HHO por la celda estuvo dentro del rango esperado y suficiente para la aplicación encontrada. El valor de un trabajo como este es muy grande para el desarrollo de un estudiante de Ingeniería Mecánica.
- La posibilidad de generar un buen negocio comercial y la gran ganancia ambiental son resultados expresivos que justifican el estudio y motivan la continuación y / o nuevos estudios. Luego de todos estos prototipos y pruebas, y observando el resultado final, es decir, la celda en pleno funcionamiento, se pudo notar la poca influencia de la cantidad de KOH en la producción de la celda, con una variación de 20 gramos de KOH, la diferencia de tiempo en la producción celular fue de solo 3 segundos. Demostrando lo que se vio en la revisión de la literatura, el KOH solo ayuda en la conductividad eléctrica de la solución.
- Otro factor observado fue la influencia de la cantidad de carga eléctrica suministrada a la celda sobre la producción de gas HHO, siendo clara la proporcionalidad directa entre las dos variables, es decir, a mayor carga eléctrica suministrada, mayor cantidad de gas HHO generado por la celda

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Según (Ortega, 2016) en su indagación efectuada, concluyo los siguientes parámetros:

- A partir del diseño y elaboración de la cuba para el electro obtención del mineral, este indica de manera objetiva una gran mejora en el rendimiento respecto a otras cubas y colocándola en funcionamiento se ha podido obtener datos deseables respecto a la óptima recuperación en el mecanismo de obtención de oro.
- Empleando diferentes parámetros en cada uno de los ensayos se indicó de manera puntual que las condiciones más óptimas dentro de los ensayos fueron de un 99% en función a la recuperación del mineral, cuando lo sometemos un amperaje de 24, y un voltaje de 2.7 voltios, no obstante, por consecuencias de gasto exagerado de fluido eléctrico se propone no elevar el amperaje, para lograr una óptima recuperación del material, ya que el actual brinda un dato muy optimo y eficiente.

Indicando a Aredo & Villanueva (2016) en su investigación determinada y realizada, mostraron las siguientes conclusiones:

- Mientras más elevada se la T° del electrolito, mejor será la masa que presentará el cobre dentro de la cuba, no obstante, aumentará de manera considerable la calidad química y física de este. Para T° aproximadamente de 42°C, se recoge una elevada proporción de cobre, con una elevada calidad química y física, así mismo también con una eficacia eléctrica del 98.9%.
- A una elevada concentración de H₂SO₄ dentro del electrolito, presentara un aumento respecto a la masa del cobre dentro de la cuba y por ende también mejorara su calidad. Respecto a las concentraciones de 100 g/L de H₂SO₄, se presenta un elevado depósito de cu, con una óptima calidad y por ende una óptima eficiencia aproximadamente del 98.49%. De acuerdo a la T°, mientras más grande sea el peso del cobre dentro de la cuba, pero por ende la

calidad mejora. No obstante, dentro del rango de temperatura de 39°C a 42°C, se adquiere una elevada masa del cobre dentro de la cuba, con una calidad optima y una eficiencia eléctrica del 99%.

- Posteriormente a las interacciones realizadas, se concluyó que las 3 variables mencionadas con anterioridad presentan un impacto de vital importancia dentro de la cuba respecto al cobre depositado, siendo así la de mayor relevancia la concentración, en breve se muestran las siguientes condiciones de operación:

Relación m/v de CuSO₄ : 79 g/L

Relación m/v de H₂SO₄ : 79 g/L

Temperatura: 39 ° C

Voltaje de la cuba: 3.0 V

Flujo de corriente: 0.70 Amp

Relación de m/v de corriente: 150 Amp/ 2

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Electrodeposición de Metales

La electrodeposición de electrolitos líquidos, aplicada a la modificación de superficies y al procesamiento de materiales, jugó un papel importante en la evolución tecnológica de nuestra sociedad. Las superficies, metálicas o no, recubiertas con materiales depositados por este método son el ejemplo más común y antiguo de su uso en nuestra vida diaria. Está presente desde las latas de alimentos que consumimos todos los días, hechas de metal recubierto con una capa de estaño o zinc galvanizado, hasta equipos médicos y mecánicos.

Actualmente, los procesos electroquímicos están experimentando un renacimiento, con el desarrollo de métodos para la fabricación de nuevos materiales y microestructuras.

El proceso de electrodeposición se utilizó tradicionalmente con la intención de modificar las propiedades químicas y mecánicas de las superficies. Por ejemplo, se puede aplicar una fina capa de cromo sobre un metal menos noble como el cobre o el acero, protegiéndolo y aumentando su valor comercial. O bien, se puede aplicar una capa de metal sobre un aislante, haciendo que la pieza sea conductora. Preparación uniforme de la superficie para procesos posteriores, como un revestimiento de oro inicial para una mejor adhesión de otras películas (capas de un material en particular) sobre semiconductores. Pero se sabe a priori que el procesamiento electroquímico se convertirá en una parte integral de varias tecnologías en evolución, como podemos concluir a partir de los datos presentados en la tabla 1.

Tabla 1. *Aplicaciones de la electroquímica*

Propiedades	Aplicación
Química	Resistencia a la oxidación y corrosión. Catálisis Sensores
Óptica	Modificación de reflectancia, emisividad y absorbancia Conmutación activada por luz Dispositivos fotovoltaicos Óptica no lineal
Mecánica	Resistencia al desgaste y a la erosión

	Compuestos metálicos de matriz Dureza, resistencia mecánica
Magnetismo	almacenamiento magnético aislamiento electromagnético Sensores (GMR)
Electricidad	Metalización de dispositivos electrónicos Superconductividad Cavidades de microondas

Fuente: [CRSC, 1994 - página 172]

La síntesis electroquímica de materiales ha ido más allá de los metales y las aleaciones y ahora incluye semiconductores [Elwell, 1981; Rao, 1980], óxidos superconductores [Slezak, 1991] y polímeros conductores [Gargner, 1991], así como compuestos que combinan las propiedades de estos materiales. De manera similar, ha habido un progreso significativo en la producción de estructuras dimensionales submicrométricas de alta calidad [Lashmore, 1989; Ozin, 1992; Stein, 1993], Las necesidades de la industria electrónica han estimulado mucho el trabajo en esta área, especialmente con respecto a la demanda de microdispositivos. Un gran número de estructuras de película delgada con pequeñas dimensiones, como interconexiones en dispositivos electrónicos [Stremsdoerfer, 1990], medios para grabación magnética [Amoldussen, 1985] y sensores magnéticos obtenidos de multicapas metálicas para la fabricación de cabezas de lectura de bajo ruido [Liao, 1993] se fabrican actualmente mediante tecnología electroquímica.

La galvanoplastia es un proceso particularmente atractivo para el crecimiento de películas delgadas, ya que es una técnica a presión atmosférica, temperatura ambiente y que requiere bajas potencias, típicamente del orden de 10^{-2} W / cm^2 . El equipo utilizado

también es de baja costo, que cuesta unos pocos miles de reales, en comparación con los empleados en procesos de fase de vapor que pueden alcanzar millones de reales. En esta técnica, la tasa de crecimiento de la película se puede controlar mediante una amplia variedad de métodos, desde la simple variación de potencial hasta láser. La deposición asistida de metal alcanza tasas de 50 ($\mu\text{m} / \text{s}$). Recientemente, la tecnología de electrodeposición también se ha extendido al ambiente de sala limpia con el objetivo particular de fabricar circuitos de tamaño nanométrico [Jubber, 1989].

Además de estas aplicaciones, esta técnica sigue aplicándose en la construcción de grandes y complicadas estructuras para la ingeniería, que son difíciles de producir de otras formas. Por ejemplo, los tanques de combustión de los principales motores de las naves espaciales estadounidenses actuales están recubiertos con electrodeposición de cobre y níquel.

2.2.2. Historia de la Electrodeposición

Como se mencionó anteriormente, la aplicación del proceso de electrodeposición está presente en varias áreas de la tecnología moderna. Su origen se confunde con el de la propia electroquímica, cuando se observó que una barra de zinc sumergida en una solución de sulfato de cobre presentaba, después de cierto tiempo, una película de cobre. El cobre estaba presente en la solución en forma de iones Cu^{2+} , y al recibir los electrones de los átomos de zinc que sufrieron oxidación (pérdida de electrones) en la superficie de la placa, pasaron al estado neutro (reducido) dando lugar al depósito. .

Junto con el estudio del fenómeno, el descubrimiento se utilizó fácilmente para recubrir metales con el objetivo de cambiar sus propiedades superficiales, como la dureza y la resistencia a la erosión. Este recubrimiento consiste en el crecimiento de una película sobre la superficie del sustrato, que tendrá sus características cambiadas por la adición de una nueva capa constituida por la película del material depositado. La película, o película,

a su vez, está formada por la capa de sustancia depositada, cuyo espesor puede variar desde unos pocos angstroms hasta unos micrómetros, sobre la superficie de la muestra. Para una mejor eficacia, la película no debe tener sustancias indeseables que puedan cambiar sus características físicas o químicas, así como su interfaz con el sustrato también debe estar libre de impurezas, y es fundamental una buena adherencia al sustrato. Las películas delgadas tienen como característica especial espesores inferiores a 1 μm , y pueden consistir en una sola sustancia, aleaciones o estar presentes en multicapas.

Pronto se observó que el origen de la electrodeposición era eléctrico y que se podía controlar desde una fuente de tensión / corriente con el objetivo de modificar las características de los depósitos obtenidos. Pero el fenómeno no es solo eléctrico, también es una reacción química, y las afinidades entre los iones presentes en la solución influirán en el resultado final. Estas afinidades afectarán la tasa de transferencia de electrones entre la superficie del sustrato y los iones del material que se depositarán presentes en la solución y, en consecuencia, influirán en el proceso de crecimiento del depósito.

Otros factores que pueden afectar la transferencia de electrones son de origen químico, como pH, concentración del ion a depositar, complejos formados con otras especies en la solución de deposición, agentes catalizadores de la reacción, entre otros.

Históricamente, el primer registro de deposición de cobre data de 1810 [Smee, 1843]. Posteriormente, en 1833 Bessemer [Ellingham, 1935] recubrió pequeñas piezas de metal fundido con cobre electrodepositado. De la Rue sostuvo una discusión técnica sobre el tema en 1836 [De la Rue, 1836] y la primera patente para producir depósitos de cobre fue otorgada a Jacobi en 1840 [Jacobi, 1840]. Poco después, se publicó un trabajo. procesos de deposición de cobre con fines comerciales por Smee en 1843 [Smee, 1843]. Durante los siguientes 70 años, el desarrollo del proceso se dirigió principalmente hacia aplicaciones específicas de electrodeposición de cobre utilizando soluciones ácidas. Las

publicaciones durante este período fueron revisadas por Bennett [Bennett, 1913]. La mayoría de estas referencias usan soluciones de sulfato de cobre (II) que contienen ácido sulfúrico, pero soluciones con sales de oxalato [Langbein, 1903], nitrato [Beadle, 1901], acetato [Beadle, 1901], fluosilicato [Kern, 1909; Kern 1910] y cloruro de cobre (I) [Kern, 1909] también se mencionan.

Muchas otras soluciones, con diferentes componentes, se probaron entre 1930 y 1960. Sin embargo, la gran mayoría de las aplicaciones comerciales actuales utilizan soluciones de sulfato y fluoborato [Struyk, 1946; Willson, 1948] o de cloruro.

Fue solo cuando se estableció la técnica para sustratos metálicos que la atención se centró en la industria de dispositivos electrónicos y sustratos semiconductores. Un trabajo publicado por Sullivan et al. En 1957 [Sullivan, 1957] analiza la adhesión de una película electrochapada de níquel sobre silicio mediante un proceso catalítico espontáneo (no hay necesidad de una fuente eléctrica, por lo que también se conoce como electrolisis) desarrollado por Brenner [Brenner, 1946; Brenner 1947], el trabajo dirigido a la formación de contactos eléctricos sobre silicio mediante nuevos procesos. A pesar del pequeño impacto del tema en ese momento, este estudio es el inicio de la búsqueda de nuevos procesos y materiales para la formación de silicatos por parte de la industria de la microelectrónica, que tuvo lugar a principios de los años 70.

Posteriormente, en 1966, Dorbeck estudia la fabricación de contactos Schottky en GaAs a partir de electrodeposición de oro y cobre en láminas de GaAs [Dörbeck, 1966], sin embargo, fue solo en la década siguiente que Bindra y colaboradores llevaron a cabo una investigación más amplia [Bindra, 1977], en este estudio se investigó el proceso de nucleación y crecimiento de metales como el plomo, la plata y el paladio en varios sustratos semiconductores. Este trabajo, junto con Reineke y Memming ya en la década

siguiente [Reineke, 1987], se apuntó a la formación de contactos óhmicos (contactos en circuitos integrados) y contactos rectificadores (barrera Schottky).

Muy recientemente, en 1995, un trabajo de Wisniewski et. Alabama. [Wisniewski, 1995 (1)] sobre las características cristalográficas del cobalto electrodepositado sobre silicio tipo p, utilizando sustratos con orientación (100) y (111). El propósito de la investigación fue estudiar la proporción entre las fases cúbica centrada en las caras (fcc) y hexagonal compacta (hcp) formadas en los depósitos.

Se observó una verdadera explosión de trabajo a finales de los 80 y principios de los 90, principalmente con el descubrimiento de nuevas aplicaciones que podrían implementarse fácilmente utilizando la electrodeposición en lugar de técnicas más costosas como las mencionadas en la Introducción. El fenómeno conocido como resistencia a los imanes gigantes fue el mayor incentivo para la investigación en el área. Su impacto se comprende fácilmente si tenemos en cuenta la influencia de los procesos de grabación y reproducción en los medios magnéticos en la vida moderna: la informática se basa en estos procesos. Pronto se hizo evidente que las muestras electrodepositadas podrían presentar tal fenómeno, como en el trabajo de Alper et al. En 1993 [Alper, 1993], pero, como en el inicio de la propia electrodeposición, los sustratos utilizados son metálicos, como el cobre. , y todavía hay pocos datos investigados sobre la electrodeposición en semiconductores.

Dentro de la misma estrategia, Switzér y colaboradores publicaron un artículo en 1994 sobre la producción por electrodeposición de superredes de óxido de talio (III) a escala nanométrica que presentan características superconductoras [Switzer, 1994], como alta densidad portadora de carga y baja dimensionalidad electrónica. . La producción de superconductores mediante técnicas electroquímicas ya había sido abordada con éxito en

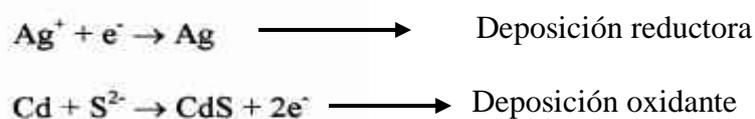
trabajos anteriores, como Norton y Tang, en los que se utilizan materiales sin presencia de cobre [Norton, 1991]

Se formó un vasto campo de estudio y aplicaciones en torno a la microelectrónica. Tampoco debemos olvidar los procesos de limpieza de sustratos de semiconductores para la industria de componentes electrónicos. Varias causas de contaminación durante los múltiples procedimientos para obtener una hoja perfectamente limpia provienen de la deposición espontánea de metales [Kem, 1990]. La comprensión de este proceso es por lo tanto de gran importancia para evitar que dichos contaminantes no estén presentes al final del proceso. limpieza.

Actualmente, el uso de materiales orgánicos depositados sobre diversos sustratos, metálicos o no, es cada vez más atractivo [Baizer, 1983]. Estos materiales pueden cambiar las características superficiales como se hacía anteriormente con los metales, como la obtención de conducción eléctrica por deposición de una película de moléculas orgánicas sobre materiales aislantes. Los procesos electroquímicos también se muestran prometedores en esta área, basados en las mismas razones por las que demostraron ser atractivos en la deposición de metales.

2.2.3. Electrodeposición

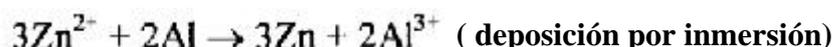
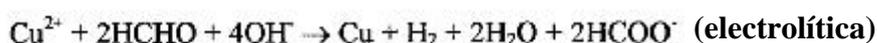
El término electrodeposición corresponde al proceso de deposición electrolítica, tradicionalmente ligado al crecimiento de películas metálicas. Necesita una fuente externa de electricidad para controlar el poder oxidante o reductor del sustrato en relación a los iones presentes en el electrolito, y está asociado con el flujo de corriente eléctrica a través de una solución donde uno de los siguientes tipos de reacción ocurre (Martins, 1996):



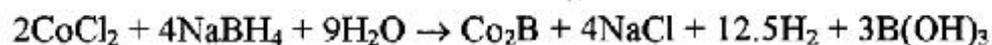
Existen otros procesos electroquímicos a partir de los cuales es posible la deposición de materiales, en general, la síntesis electroquímica sigue al menos uno de los diferentes esquemas de reacción a continuación, además de la deposición electrolítica, que puede ser de origen puramente químico o involucrar una fuente externa de energía, como fuente de luz (Martins, 1996):

- **Métodos de reducción química:**

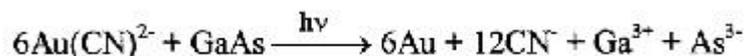
- **Reducción química heterogénea**



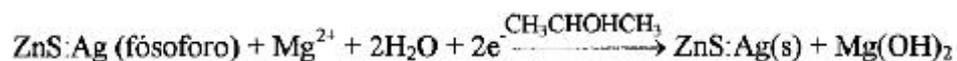
- **Reducción química homogénea**



- **Deposición Fotoelectroquímica:**



- **Deposición por electroforesis:**



En la deposición electrolítica, que en este trabajo solo se llamará electrodeposición, podemos variar la forma en que se controla la corriente eléctrica aplicada al sistema de deposición. Los más comunes son el depósito potencioestático y el depósito galvanostático (Martins, 1996).

En la deposición potencioestática, el potencial eléctrico aplicado a la celda electroquímica se mantiene fijo y la corriente está determinada por la dinámica de la reacción en la superficie del electrodo de trabajo, que es esencialmente la misma que la técnica de cronoamperometría. El espesor de la película se determina puramente por el tiempo de deposición, es decir, el intervalo de tiempo en el que se aplica el sobrepotencial.

El control sobre las propiedades morfológicas de la película, como el tamaño de grano y la porosidad, se obtiene cambiando el valor del sobrepotencial al que está sujeto el electrodo. La siguiente figura ilustra la influencia del valor de sobrepotencial, con las diferentes morfologías de los depósitos obtenidos (Martins, 1996).

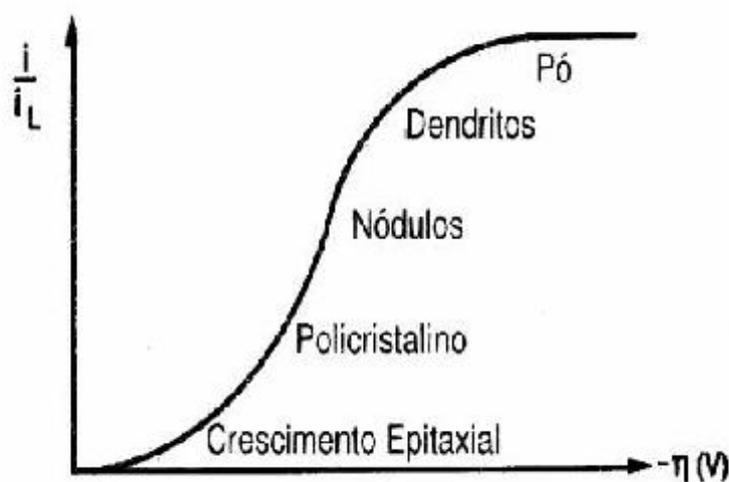


Figura 1.-Influencia de la corriente de deposición en la morfología del depósito formado (Tomado de CRSC, 1944 - página 176)

En la deposición galvanostática, lo que se mantiene fijo es la corriente que fluye a través de la celda. El espesor de la película también viene dado por el tiempo de deposición. Su ventaja es la tendencia a la uniformidad del depósito, ya que la velocidad de deposición es constante, ya que esta es directamente proporcional a la corriente que circula por la celda (Martins, 1996).

También existen métodos pulsados, en los que se aplica una corriente o potencial de forma de onda. Otros tipos de control de la calidad de los depósitos son los cambios químicos en el electrolito, como la variación en la concentración de iones del material a depositar, el valor de pH del electrolito y los aditivos de la solución. Lo que determina el método utilizado es básicamente la forma geométrica del electrodo y las características

deseadas en el depósito. Los métodos pulsados son la única forma de obtener capas con diferentes composiciones utilizando la misma solución, con diferentes formas de onda para cada aplicación. Por ejemplo, a partir de un electrolito que contiene iones Cu^{2+} y Ni^{2+} , es posible formar una capa con una mayor concentración de cobre sobre otra capa que contiene una mayor concentración de níquel (Martins, 1996).

En la formación del depósito, están presentes dos etapas distintas: nucleación y crecimiento. Inicialmente, la deposición ocurrirá en la superficie del electrodo de un material diferente (en este trabajo, cobre sobre silicio), por lo que existe la necesidad de la formación de núcleos de la nueva fase metálica y su crecimiento con las características cristalográficas del metal depositado. . A partir de entonces, cuando el electrodo está completamente cubierto por unas pocas capas atómicas de este metal, solo queda un electrodo del tipo M / Mn^{+} , donde el ion Vf^{+} es reducido por los electrones proporcionados por la fuente externa de potencial, provocando el aumento de la capa hasta la formación de un depósito macroscópico. En términos de tiempo y carga eléctrica, el proceso de electrodeposición consta casi en su totalidad de la última fase, pero las etapas iniciales también son importantes, ya que la estructura de las primeras capas influye en la estructura del depósito final y sus propiedades (Martins, 1996).

En general, la nucleación de un nuevo material en la superficie del electrodo es siempre un evento poco probable, que se logra solo con un alto sobrepotencial (aquí se excluyen otros fenómenos, como la deposición espontánea, o sin electrodos, y las llamadas subdeposiciones. -Potencial, o bajo potencial de deposición - UPD). La velocidad de nucleación depende de los componentes del electrolito y es extremadamente sensible al potencial aplicado (Martins, 1996).

Los núcleos, una vez formados, crecen rápidamente hasta valores de sobrepotencial bajos comparables, y en las deposiciones galvanostáticas el potencial

disminuye sustancialmente después de su formación, al igual que la corriente en las deposiciones potencioestáticas.

El crecimiento de los cristales se produce mediante la incorporación de átomos metálicos individuales en la red cristalina. Los últimos átomos metálicos adheridos al cristal solo son estables cuando ingresan a un sitio donde interactúan con varios otros ya presentes en la red. Los átomos en estado neutro en la superficie del electrodo, pero que aún no forman parte de un núcleo en crecimiento (grupo), se denominan átomos y se difunden libremente sobre la superficie. Las posiciones más favorables para fijarlo al cristal son las esquinas, aunque algunas pueden fijarse a los bordes de los escalones. Si no se adhieren, pueden volver a la solución en forma de iones o formar un nuevo núcleo (Martins, 1996).

El crecimiento de una nueva fase es entonces una secuencia de al menos tres pasos:

1. Transporte de masa en la solución de iones metálicos a la superficie del electrodo;
2. Transferencia de electrones del electrodo al ion, formando un átomo.
3. Difusión del átomo en la superficie hasta su incorporación a un núcleo o formación de un nuevo núcleo en un sitio favorable.

A valores de densidad de corriente bajos, la transferencia de electrones es lenta en relación con la difusión de átomos, lo que facilita su fijación en una posición favorable. Por otro lado, en condiciones de alta densidad de corriente ocurre lo contrario y las capas depositadas tienden a estar menos ordenadas. Sin embargo, los aditivos de la solución de deposición pueden modificar radicalmente el proceso de crecimiento, como las grandes moléculas orgánicas, que se adsorben en la superficie del sustrato, limitando la difusión de átomos y el número de núcleos formados (Martins, 1996).

Una preocupación siempre presente en la electrodeposición de cualquier metal es la formación de gas H₂, ya que las soluciones más utilizadas son ácidas, y, por tanto, tienen una alta concentración de iones H⁺, favoreciendo la evolución del gas. La figura 2 muestra las corrientes correspondientes al proceso de reducción correspondiente a cada reacción. Dependiendo de la aplicación, la formación de hidrógeno gaseoso es generalmente dañina incluso en pequeñas cantidades, ya que dará lugar a la aparición de burbujas que perjudicarán el crecimiento de la película en la región del sustrato cubierta por ellas, y parte de la electricidad. La corriente medida en la celda se referirá a la reducción de iones Mⁿ⁺, disminuyendo la eficiencia del proceso de crecimiento del depósito (Martins, 1996).

Para realizar la electrodeposición, el equipo necesario, además de los electrodos, la celda y el electrolito que contiene los materiales a depositar en forma de solución es solo una fuente de corriente o voltaje, acoplada a un generador de ondas en el caso de deposiciones potenciales. o corriente variable. Se pueden usar equipos de medición de corriente y / o voltaje para monitorear el proceso de electrodeposición (Martins, 1996).

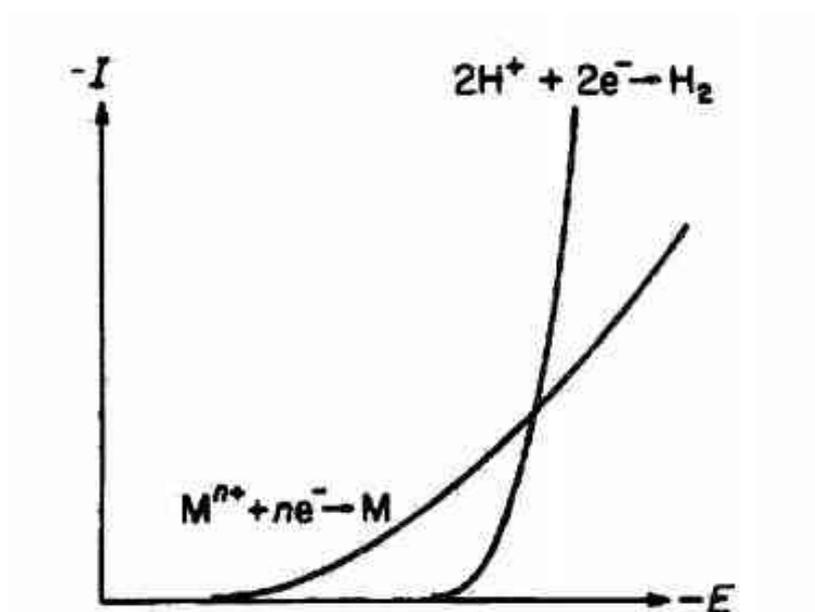


Figura 2. Curvas I vs t para la reducción de metal M y protón en solución para electrodeposición (Tomado de Industrial Electrochemistry - Derek Pletcher y Frank C. Walsh, 2ª edición, Chapman y Hall, 1990).

2.2.4. Celdas Electrolíticas

Las celdas electrolíticas son los dispositivos en los que tiene lugar la electrólisis, están formadas por placas positivas y negativas sumergidas en una solución electrolítica. La naturaleza del agua ha sido un enigma durante mucho tiempo. Desde la antigüedad, se consideró una sustancia elemental, hasta que se comprobó su naturaleza compuesta durante el siglo XVIII. En 1781, el químico inglés Joseph Priestley (1733-1804) observó que cuando el “gas inflamable” (nuestro hidrógeno) ardía en el aire, se podía observar una especie de rocío. Su compatriota Henry Cavendish (1731-1810) fue más allá y llevó a cabo el experimento en condiciones más precisas, recogiendo y midiendo el rocío producido y finalmente demostrando que realmente era agua. Le tocó al químico francés Antoine Lavoisier (1743-1794) dar una explicación teórica completamente satisfactoria del fenómeno, demostrando que era reversible, es decir, que el agua también podía sintetizarse a partir de los gases que la formaban, a los que ahora denominó hidrógeno y oxígeno.

En el año 1800, el físico italiano Alessandro Volta (1745-1827) escribió una carta al presidente de la Royal Society of England, Sir Joseph Banks (1743-1820), quien pronto la publicó, desencadenando enormes consecuencias. En la carta, Volta describió los experimentos que había estado realizando con la electricidad y su reciente invención, que llegó a conocerse como la celda voltaica o celda eléctrica. El dispositivo consistía simplemente en una pila (de ahí el nombre) de pequeños discos de dos metales diferentes (cobre y estaño, o mejor, plata y zinc) colocados alternativamente uno encima del otro y separados por trozos de cartón o fieltro empapados en agua salada. . Un efecto similar también se obtuvo cuando se sumergieron en solución salina pares de los dos metales unidos por piezas de metal, como se muestra en la figura original de Volta. Cuando una persona puso la mano en el primer disco de la pila y la otra en el último, sintió una

conmoción leve pero continua. La intensidad eléctrica aumentó con el número de pares de discos metálicos.

Ahora se sabe que los dos metales deben elegirse de manera que formen un par en el que uno de ellos tiende a oxidarse (perdiendo electrones), en comparación con el otro, que debe tener más probabilidades de reducirse (ganando electrones). Cerrando el circuito y existiendo la posibilidad de conducir la electricidad a través de la solución de agua salada, se forma una corriente eléctrica, origen de los choques informados por Volta.

En el mismo año 1800, el químico inglés William Nicholson (1753-1815) y el médico inglés Sir Anthony Carlisle (1768-1840) construyeron una pila de 17 monedas de plata de media corona y un número igual de piezas de zinc. El circuito se cerró con cables de latón. Para lograr un mejor contacto, Carlisle puso una gota de agua en la placa superior y notó la liberación de un gas, que Nicholson asumió que era hidrógeno. En el artículo que los dos publicaron en el mismo año de 1800, se lee que "un torrente de pequeñas burbujas salió del alambre conectado a la plata, y el otro alambre se oxidó".

El gas se identificó como hidrógeno, mientras que el oxígeno se adhirió al otro cable (oxidándolo) a una distancia de casi dos pulgadas. Cuando los alambres de latón fueron reemplazados por alambres de platino, el resultado fue gas en ambos alambres (ya que el platino no se oxida con oxígeno). Al repetir el experimento con una batería aún más potente, fue posible producir una cantidad mucho mayor de gases. Dejando que la reacción tuviera lugar durante 13 horas seguidas, los considerables volúmenes de gases recogidos estaban en las mismas proporciones correspondientes a la composición del agua.

Los gases se analizaron más a fondo para demostrar que en realidad eran hidrógeno y oxígeno. Se había realizado, en condiciones controladas, y por primera vez,

la reacción de descomposición Pile de Volta: el dispositivo permitía descomponer el agua en sus gases constituyentes: hidrógeno y oxígeno.

La primera pila de combustible fue desarrollada en el siglo XIX por Sir William Grove. Se publicó un boceto en 1843. Las pilas de combustible no tuvieron aplicación práctica hasta 1960, cuando se utilizaron en el programa espacial estadounidense para producir electricidad y agua potable (hidrógeno y oxígeno suministrados desde los tanques de los aviones), un proceso extremadamente caro debido a las pilas que requieren hidrógeno y oxígeno muy puros.

En 1813, el físico químico inglés Michael Faraday inició su brillante carrera en un mundo académico rico en ideas y experiencias. Faraday realizó investigaciones y desarrolló teorías que formaron las bases de la electroquímica y el electromagnetismo. Los estudios realizados sobre la electrólisis de soluciones de sales, ácidos y bases sirvieron para obtener las leyes básicas de la electrólisis (1834), relacionando la acción química producida por la corriente y la cantidad de electricidad.

2.4. Definiciones Conceptuales

Adsorbado.

Son compuestos absorbidos por un material que presenta la propiedad de absorción, entre los más empleados se encuentra el carbón activo.

Adsorber

Presenta la característica de atraer de manera óptima dentro de la superficie moléculas y compuestos microscópicos como por ejemplo los iones presentes en otro material.

Adsorción

Atracción de moléculas tanto en estado gas o líquido, el cual se adhiere en la parte superficial de un sólido, los cuales entran en contacto con el mismo material.

Aglomeración

Unir, enlazar y agrupar de manera adecuada un compuesto o sustancias a través de la adición entre los ejemplos tenemos la cal, arcilla, entre otros.

Alta calidad

Sustancia pura y rica. Normalmente se basa o especifica al proceso de minería selectiva, en donde se extrae el mineral más óptimo existente dentro de un depósito.

Análisis

Estudio o ensayo químico en lo que un compuesto es sometido con el fin de encontrar dentro de la muestra sus características principales o si es que posee algún metal útil.

Ánodo

Compuesto obtenido del mecanismo de fundición que es sometido al mecanismo de refinación empleándolo como polo positivo dentro de una cuba de deposición.

Carbón activado.

Compuesto que ha sido utilizado por un mecanismo a una elevada temperatura a través de vapor de agua con otros compuestos deshidratantes, con el fin de activarlo, esto genera o brinda una estructura porosa dentro del carbón.

Cátodo.

Compuesto necesario para que una cuba electrolítica funcione, normalmente corresponde al polo negativo de la cuba y es muy empleado para la refinación de metales como el Cu.

Celda.

Recipiente en donde se desarrolla diversos mecanismos metalúrgicos con el fin de adquirir y recuperar metales.

Descarga.

También conocido con el nombre de elución, permite o brinda el arrojado de un compuesto ya empleado o utilizado con la finalidad de utilizarlo para otro proceso dentro de la minería.

Desorción (o desadsorción).

Es lo contrario a la adsorción. Se basa en el desapego o alejamiento de la superficie del compuesto adsorbente.

Electrodeposición

Este es el proceso mediante el cual los metales, como el oro, se recuperan de las soluciones concentradas aplicando un voltaje a través de los electrodos sumergidos en la solución.

Tasa o índice de carga.

Es la característica principal que presenta el mecanismo de absorción de una materia, el que normalmente se emplea es el carbón activo, solo que es empleado a condiciones óptimas y parámetros previstos dentro del estudio.

Tiempo de contacto.

Es el periodo necesario que emplea un flujo eléctrico con el fin de pasar una columna de carbón, dando a entender de manera práctica que todo el fluido eléctrico corra a una velocidad constante.

2.4. Formulación de la Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Es posible diseñar una celda para la electrodeposición de cobre a nivel de laboratorio.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Es factible determinar los tipos de electrodos a emplear y las dimensiones que presentan para la electrodeposición del cobre.

- Es viable hallar los factores que influyen en el mecanismo de electrodeposición de cobre.
- Es posible determinar el rendimiento que presente la celda de electrodeposición respecto a la extracción de cobre.

2.4.3. Operacionalización de las variables

Variable Dependiente: Diseño de una celda

Variable Independiente: Electrodeposición de cobre

Tabla 2.Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Diseño de una celda	Es el arte de crear, planear y elaborar un prototipo nuevo o existente con diversas modificaciones con el fin de mejorar su proceso.	Para diseñar la celda se necesitó en primer lugar las dimensiones del ánodo y cátodo introducida en ella, para posteriormente elaborar la celda en dimensión a ellos, con la finalidad de realizar un buen prototipo a nivel de laboratorio.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones de la celda electrolítica • Dimensiones del ánodo y cátodo 	<p>Largo:15 cm Ancho:10 cm Alto:12 cm</p> <p>Largo: 10 cm espesor:0.1 cm Ancho: 5 cm</p>
Electrodeposición de cobre	Mecanismo metálico en el cual es sometido un material inerte, con la finalidad de recubrirlo de cobre, para posteriormente medir y calcular el peso depositado en dicho electrodo.	Con la finalidad de realizar una óptima electrodeposición del cobre dentro del material inerte se debe tener en cuenta varios parámetros, entre ellos incluyendo el voltaje, el amperaje y la correcta disolución del electrolito.	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje • Amperaje • Disolución del electrolito 	<p>Bajo Medio Alto</p> <p>Bajo Medio Alto</p> <p>H₂SO₄ H₂O destilada CuSO₄.</p>

Fuente: Elaboración propia

Capítulo III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo es cuantitativo y a su vez cualitativa, esto más que todo porque se intentara determinar la relación presente que posee la recuperación de cobre frente al mecanismo de electrodeposición empleado, con el fin de determinar de manera adecuada la validación y fiabilidad de la cuba de electrodeposición respecto al depósito de cobre.

3.1.2. Nivel de investigación

Respecto al nivel obtenido y desarrollado de la indagación es descriptivo – empírico.

3.1.3. Diseño

El diseño del mecanismo de electrodeposición del cobre es de tipo experimental, en breve se detallará de manera oportuna todo el mecanismo que debe cumplir la tesis desde el armado de la cuba hasta la evaluación del propio mecanismo de electrodeposición.

1. En primer lugar, se prepara una mezcla denominada electrolito la cual estará conformada por H₂O destilada y CuSO₄.
2. Somete la disolución en agitación aproximadamente durante 20 minutos, con la finalidad de mezclar de manera óptima toda la sustancia dentro de recipiente y que la solución quede de manera homogénea.
3. Seguidamente se le añade el H₂SO₄ a la mezcla mencionada y en breve se aplica el método o técnica de bartender, el cual consiste en mezclar de manera oportuna una disolución dentro del matraz, quedando así una proporción de Cu²⁺=41g/L + 160g/L H⁺.

4. Luego se pasa a determinar el tamaño exacto del cátodo y ánodo que se va a colocar dentro de la cuba de electrodeposición, pero con anterioridad se pesa el cátodo, con el fin de anotar la masa de este.
5. Seguidamente se calcula el flujo eléctrico a emplear en todo el mecanismo de electrodeposición, lo cual se detalla que el amperaje que necesita es de 350 por metro cuadrado.
6. Consecutivamente se arma la cuba electrolítica y se vierte la disolución preparada con anterioridad y se eleva su temperatura aproximadamente a 40°C.
7. Posteriormente se conecta todos los cables desde la fuente de alimentación hasta el ánodo y cátodo.
8. Posteriormente a conectar los cables, se prende la fuente de alimentación y se coloca el voltaje a 1.9 volteos y el amperaje determinado en el paso 5.
9. El primer ensayo presenta un periodo de 40 minutos, donde en cada 10 minutos se va controlando y anotando la temperatura de la disolución.
10. Finalizado el ensayo se desarma la cuba de electrodeposición y se calcula la masa del cátodo.
11. Se determina el porcentaje de cobre depositado dentro de la cuba de electrodeposición.
12. Se vuelve a realizar el mismo proceso de montaje y se aplica el segundo ensayo con un periodo de 80 minutos.
13. De igual manera se calcula la temperatura al principio y al terminar el mecanismo de electrodeposición.
14. Se desarma la celda y se vuelve a calcular la masa del cátodo
15. Finalmente se determina el porcentaje de Cu depositado dentro de la cuba de electrodeposición.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La población estará abarcada principalmente por una cuba desarrollada y construida de manera adecuada por el investigador con el fin de obtener cobre a través del mecanismo de electrodeposición,

3.2.2. Muestra

La muestra será abarcada de dos ensayos extraído de una mezcla de H₂O destilada y CuSO₄.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas empleadas

Respecto a las técnicas analizadas e utilizadas dentro de la indagación se realizaron la técnica de análisis directo e indirecto, así mismo también se empleó el análisis experimental, el cual consistió en conocer a través de la vista las diversas acciones experimentales, con la finalidad de obtener y procesar los datos de una manera óptima y adecuada respecto al diseño y construcción de una celda de electrodeposición con el fin de obtener Cu de manera limpia y sostenible.

3.4. Técnicas para el procesamiento de información

Las técnicas utilizadas fueron los diversos programas estadísticos e informáticos, como los que presenta Microsoft Word, el cual nos permitió plasmar la información para su posterior presentación, Microsoft Excel, nos permitió efectuar los cálculos debido en la indagación presente, así mismo también anotar de manera detallada los cálculos realizados por calculadora con el fin de calcular el margen de error y finalmente power point, el cual nos permitió desarrollar la presentación de la investigación con el fin de exponer de manera amena y directa la información plasmada.

Capítulo IV: RESULTADOS

4.1. Determinación de los electrodos a emplear

Para la determinación correcta y adecuada del ánodo a emplear dentro de la cuba de electrodeposición, es de vital importancia conocer algunos aspectos relevantes de la cuba a emplear, como las dimensiones de esta, así mismo también el grosor que debe presentar, debido a que es un parámetro importante respecto a la recuperación de cobre.

En primer lugar se revisó bibliográficamente la comparación entre diversos ánodos y cátodo, previendo de manera objetiva el mas eficiente para la celda de electrodeposición, finalmente se empleó el cátodo de un materia de acero y un ánodo de material de plomo, ambos con dimensiones menores a la cuba de electrodeposición, dejando así un espacio aproximadamente de 2.5 cm a sus lados y 5 cm de la superficie inferior de la cuba, posteriormente se analizo el grosor adecuado, el cual era de 0.1 cm para el cátodo y 0.2 cm para el ánodo, quedando de la siguiente manera:

- 1 placa de acero inoxidable con dimensiones de 5 cm x 0.1 cm x 10 cm.
- 1 placa de plomo con dimensiones de 5 cm x 0.2 cm x 10 cm.



Figura 3. Dimensiones del cátodo de acero a emplear dentro de la cuba de electrodeposición.

4.2. Determinación de Factores que influyen en el proceso de electrodeposición.

Con el fin de brindar óptimos resultados y generar un adecuado mecanismo de electrodeposición es de vital importancia conocer las variables y parámetros que influyen de manera directa en el mecanismo de construcción de la cuba, con el fin de realizar una adecuada construcción de la cuba.

Tiempo de electrodeposición

Este factor es relevante dentro de proceso de electrodeposición, esto se debe a que un adecuada y optimo tiempo del proceso, brindara de manera optima una cantidad deseable de cobre obtenido dentro de los electrodos, brindando así una mayor eficiencia electrolítica, el rango normalmente del tiempo dentro de una celda de electrodeposición varía en función a la cantidad de cobre sometido dentro de la cuba, así mismo también del voltaje y amperaje en el cual se le somete, por ende siempre es de vital importancia controlar de manera eficiente los parámetros mencionados, con la finalidad de tener resultadas óptimos y deseables.

Densidad de flujo eléctrico suministrado

Respecto al flujo de corriente que va a ingresar a la cuba, este va a depender de manera directa del porcentaje de cobre que se esté tratando dentro de la cuba, normalmente va a cambiar el amperaje empleado por la fuente de poder, comúnmente el amperaje empleado o utilizado está en un rango de 300 – 400 A/m² generando un cátodo de cu de óptima calidad.

Temperatura

Es de vital importancia tener una T° permanente, en pocas palabras que no varié, esto con la finalidad de disminuir de manera directa el oxígeno del ánodo cuyo material es de Pb.

El dato de temperatura empleado dentro de la celda de electrodeposición es por teoría de 42°C a 52°C, una T° reducida o disminuida de la mencionada puede originar un grano más pesado y por ende un cu de mala calidad.

El rengo mencionado presenta una adecuada justificación por gastos de calefacción y gastos de agua por vaporización.

Cátodo de Acero

Para operar con el cátodo de Acero dentro de la cuba de electrodeposición, este debe presentar un nivel menor de 1,5 gpL respecto al electrolito, y de igual modo esto va a ser en función al porcentaje transferido en el mecanismo de SX.

No obstante, si en la cuba se presenta un cátodo de calidad mala, el Hierro se quedará atrapado dentro del cátodo, lo cual generará un elevó respecto a las impurezas de electrodeposición en la cuba.

Respecto al proceso de electrodeposición es de tipo parasitaria, lo cual genera disminución del rendimiento, aunque es menos nocivo que la generación de permanganato. La apariencia anula la creación del compuesto.

Manganeso

Un aumento mínimo de Mn puede originar la creación de permanganato, lo cual sería nocivo y perjudicial para el mecanismo ya que generaría una aceleración de deterioro del ánodo, debido a que este actuaría dentro de la reacción como un oxidante, así mismo también provocaría una contaminación por Pb atacando de manera instantánea la SX, generando así la pérdida del extractante dentro del electrolito, arruinando de manera directa la electrodeposición.

Dosificación del reactivo

La introducción de reactivos dentro de cada cuba, son altamente concretas, cuando se le añade algún reactivo, este puede brindar su aporte como suavizante con la finalidad

de generar un óptimo depósito de Cu a un elevado flujo de electricidad. Un aumento de gran o menor proporción, generar propiedades de superficies no acordadas dentro del Cu añadidos, afectando de manera directa a los cátodos introducidos.

Dentro de la cuba se emplean diversos añadidos como:

- **Guarfloc:** Este compuesto presenta la finalidad de aumentar la calidad del depósito.
- **Pastas antisulfatantes:** Presenta la cualidad de limpiar de manera adecuada los contactos eléctricos, con la finalidad de no brindar calidad de tensión a la cuba de electrodeposición.
- **Cobalto y cloro:** Presentan la finalidad de disminuir la corrosión generada dentro de los ánodos de plomo y así mismo también suprimir la tensión originada dentro de la cuba de electrodeposición.

4.3. Diseño y construcción de la cuba de electrodeposición

4.3.1. Diseño de la celda de electrodeposición

Posterior a la determinación de los parámetros que afectan de manera no positiva al mecanismo de electrodeposición, se pasa a construir la cuba con el fin de poder armarla lo más parecido a una cuba industrial solo que a nivel de laboratorio, por ende, se necesitara los posteriores materiales:

- Recipiente de vidrio cuyas dimensiones son 10 cm x 12 cm x 15 cm.
- Placa de acero inoxidable con dimensiones de 5 cm x 0.1 cm x 10 cm.
- 1 placa de plomo con dimensiones de 5 cm x 0.2 cm x 10 cm.
- 2 electrodos para soldadura de 20 cm de largo.

En breve se muestra el recipiente de vidrio armado con el fin de realizar el proceso de electrodeposición en su interior.



Figura 4. Cuba de vidrio con el fin de simular el proceso de Electrodeposición.

4.3.2. Construcción de la celda de electrodeposición

Posteriormente analizados y determinados todos los parámetros que pueden afectar de manera directa al mecanismo de electrodeposición, y así mismo también verificado la estructura de la celda a construir, se empieza a realizar un adecuado armado de la celda de electrodeposición, lo cual se emplean los siguientes materiales:

En primer lugar, se recolectan todas las herramientas y materiales a emplear en el armado de la celda y así mismo también se elaboran las placas a emplear durante el mecanismo electrolítico, los cuales son:

Un cátodo de acero no oxidable, el material es austenítico, es de vital importancia recalcar que es un tipo muy diferente al empleado en las industrias, debido a que son de materiales ferrítico, la desventaja del acero a emplear es que no presenta en su composición molibdeno, por lo que no es tan resistente respecto a la corrosión, el tamaño

del cátodo es de 5 cm x 0.1 cm x 10 cm , se le colocó un pedazo de alambre revestido con plástico con la finalidad de que no influya de manera negativa en la reacción originada en la celda electrolítica al paso del flujo eléctrico en el proceso de electrocoagulación, así como se muestra en la siguiente figura:



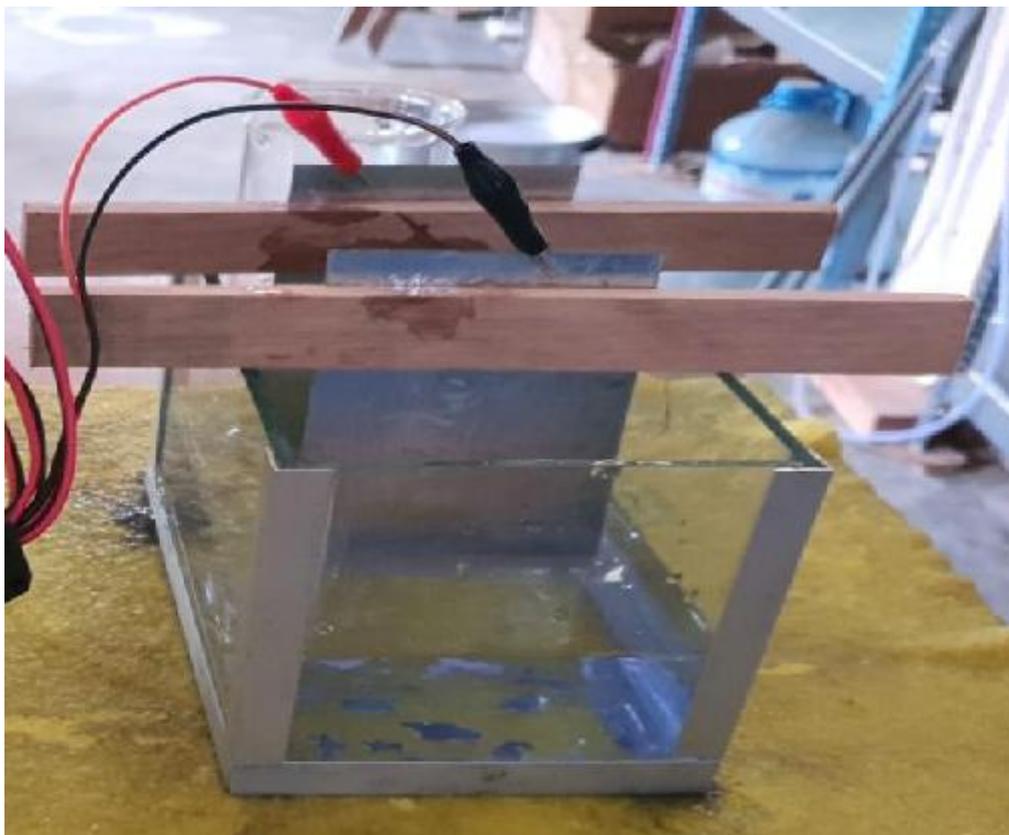
Figura 5. Cátodo de acero empleado en la electrodeposición

Un ánodo de Pb con tamaños referentes a 5 cm x 0.2 cm x 10 cm, se ubica del mismo modo que el cátodo empleado dentro de la celda de electrodeposición, a este también se le coloca un alambre revestido de plástico con el fin de no afectar de manera negativa la reacción dentro de la celda de electrodeposición y así no afectar el proceso electroquímico, en breve se muestra una pequeña ilustración del ánodo:



Figura 6. Lamina de plomo para utilizarlo en la electrodeposición.

La cuba de electrodeposición debe poseer un ánodo y un cátodo en su interior, con la finalidad de que el Cu se almacene en ambas partes del cátodo de acero inoxidable, en la siguiente figura se muestra detalladamente la ubicación de ambos electrodos:



*Figura 7.*Electrodos ubicados en la cuba electrolítica

Posteriormente al armado de la cuba de electrodeposición, se juntan de manera oportuna todos los componentes a emplear con la finalidad de desarrollar la examinación de esta y así mismo también efectuar el mecanismo de electrodeposición, en breve se muestran los materiales a emplear:

- Fuente de alimentación.
- Cables de cobre empleados como polos positivo y negativo.
- Pipeta
- Matraz
- Vaso precipitado 650 ml
- H_2SO_4
- $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- Balanza electrónica

- Termómetro.

4.4. Funcionamiento de la celda de electrodeposición

4.4.1. Armado de la cuba de electrodeposición

En primer lugar, anteriormente al armado de la cuba electrolítica, es de vital importancia disponer de la disolución que se empleara para realizar el mecanismo de electrodeposición, por ende, la disolución debe tener aproximadamente 50 gpL de cobre.

Antes de empezar a laborar en el mecanismo empírico es recomendable emplear los equipos de protección personal con el fin de que no conlleve a algún accidente, esto más que todo porque se está trabajando con compuestos químicos peligrosos.

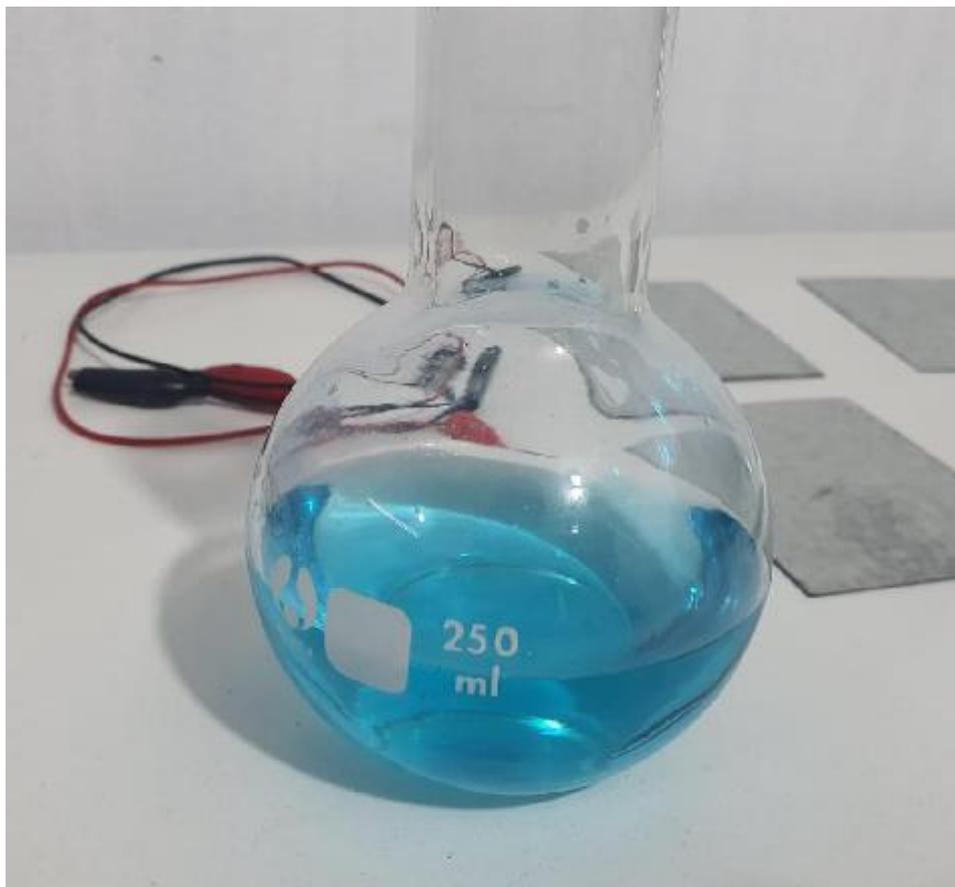
La mezcla con la que se labora debe poseer aproximadamente:

500 ml de H₂O destilada

98.67 g de CuSO₄

41.21 ml de H₂SO₄

Con el fin de preparar la mezcla, antes que nada, se debe colocar dentro de un vaso precipitado de 650 ml, los 500 ml de H₂O destilada y consecutivamente se le agrega los 98.67 g de CuSO₄, los cuales son agitados de manera constante para que el CuSO₄ se disperse de manera homogénea dentro del H₂O destilada, así como se aprecia a continuación:



*Figura 8.*Disolución del H₂O destilada con el CuSO₄

La mezcla posteriormente a la agitación durante un periodo de 20 minutos, con el fin de revisar de manera adecuada la distribución del CuSO₄ dentro de la mezcla, revisando siempre que no quede ninguna fracción sólida en la mezcla.

Posteriormente efectuada la mezcla, se procede a extraer el H₂SO₄, pero para ello es de vital importancia acondicionar con ácido la pipeta y por ende también el vaso, esto más que todo con la finalidad de eliminar cualquier partícula que exista en ambos materiales y así no perjudiquen el proceso. Posteriormente acondicionado las herramientas, se coloca una proporción de H₂SO₄ dentro del vaso y luego se le extrae con la pipeta los 41.21 ml de este, que será añadidos a la mezcla anterior de H₂O destilada y CuSO₄.

Con el fin de colocar el H_2SO_4 dentro de la mezcla, en primer lugar, se debe reemplazar la mezcla de CuSO_4 colocándola en un matraz, luego de colocarla en el matraz se puede añadir el H_2SO_4 en la mezcla, posteriormente se sella el matraz con la tapa y se empieza a agitar de manera de que la disolución quede homogénea como se muestra en la imagen anterior.



Figura 9. Fuente de Poder

Antes de colocar la mezcla en la cuba de electrodeposición, en primer lugar, se debe determinar el tamaño del ánodo y cátodo, las cuales serán introducidas dentro del electrolito con la finalidad de determinar cuánto de flujo eléctrico se debe suministrar a la cuba, con la finalidad de realizar una depositado de Cu optima y por ende eficiente, as mismo también se debe hallar la masa del cátodo antes y posterior al mecanismo con la finalidad de calcular el porcentaje de peso depositado en él.

Por ende, se determina que por teoría la cantidad de flujo eléctrico empleado en una industria de electrodeposición es de 320 amperios por metro cuadrado.

En esta ocasión el tamaño del ánodo y cátodo sumergidas dentro del electrolito son aproximadamente de 5 cm de ancho x 7 cm de alto, dando, así como resultado de 35 cm² lo que se transforma en un equivalente de flujo de corriente de 1.2 amperios.

La masa del cátodo de acero es de aproximadamente 32 g, que será sometido posteriormente a la balanza con el fin de determinar cuánto cobre se ha depositado.

Posteriormente con la disolución obtenida, el cálculo efectuado al flujo de corriente a emplear dentro del mecanismo de electrodeposición y el dato de la masa del cátodo, se colocan de manera adecuada el ánodo y cátodo dentro de la celda y continuamente se añade la disolución mezclada, para finalmente conectar los electrodos con los cables a la fuente de alimentación, así como se observa en la siguiente figura:

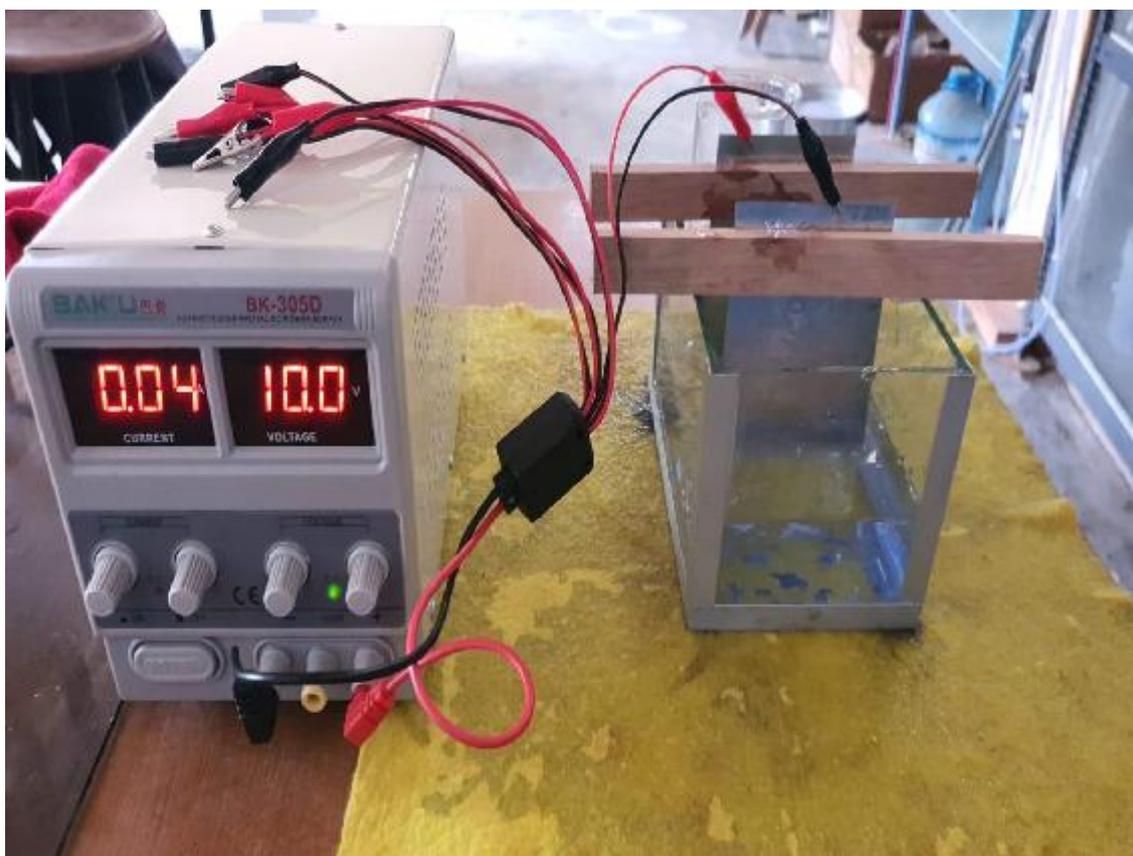


Figura 10. Celda de electrodeposición lista para utilizar

Luego que se hacen las conexiones con los cables de los electrodos directamente hacia la fuente de alimentación, se le sube la temperatura a la cuba electrolítica llegando así a una temperatura aproximada de 40°C, esto más que todo con la finalidad de que el proceso de electrodeposición sea más efectivo y adecuado.

Los cables van enlazados correctamente desde la fuente de alimentación hacia las placas que están ubicadas dentro de la cuba de electrodeposición, La fuente de alimentación posee un regulado de amperaje y voltaje, la cual debe ser programada a 1.2 amperios, esto más que todo por los datos calculados con anterioridad y por ende también un voltaje aproximado de 1.9 voltios, estos datos son constantes durante todo el mecanismo de electrodeposición.

Los dos cables enlazados presentan dos salidas, las cuales son positivas y negativas enlazadas directamente a las placas de plomo y acero, así como se puede apreciar en la posterior figura:

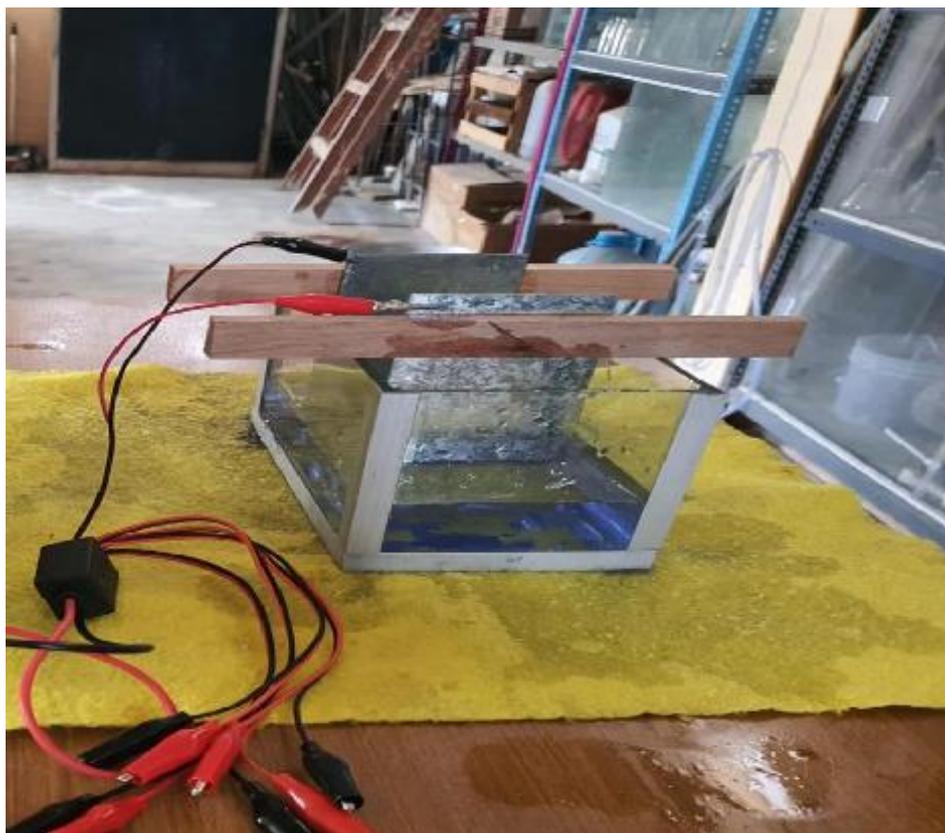


Figura 11. Conexiones de cables a la fuente de alimentación

Posteriormente armada la cuba de electrodeposición, con las placas y todas las conexiones adecuadas a la fuente de alimentación se somete a efectuar su evaluación.

4.4.2. Evaluación de la cuba de electrodeposición

Para iniciar la evaluación de la cuba, ambos cables deben estar conectados a la fuente de alimentación a un voltaje de 1.9 y un amperaje de 1.2, así como indica la siguiente figura, así mismo también debe presentar una T° constante de 40°C .

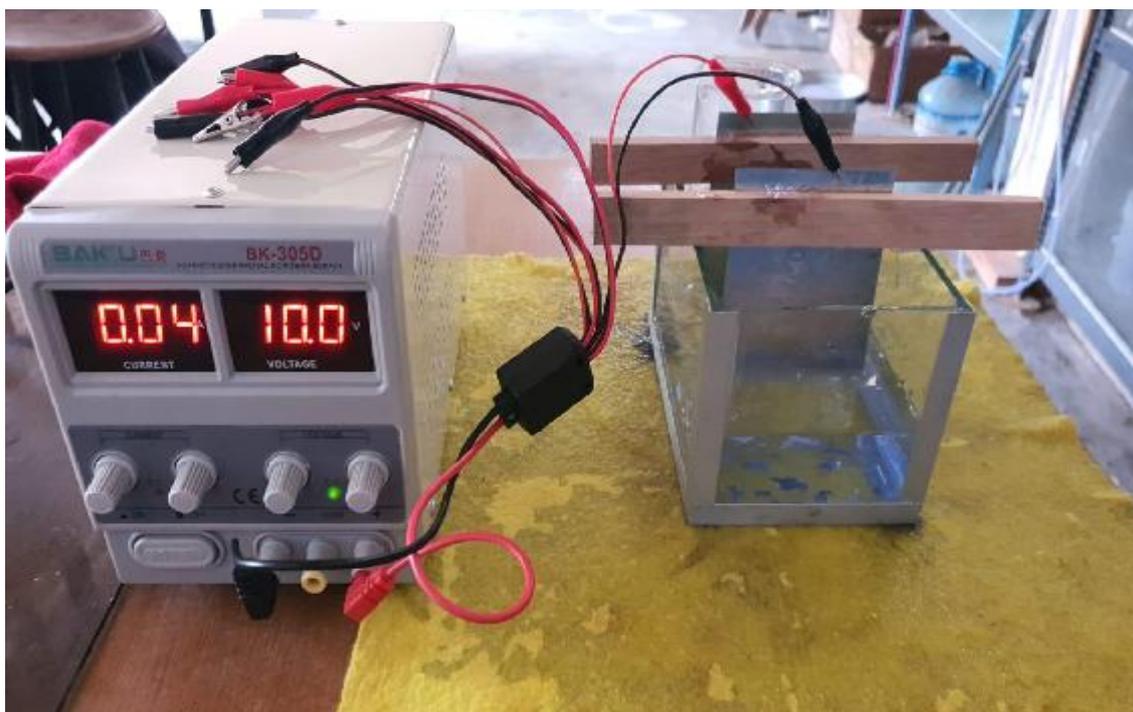


Figura 12. Evaluación de la cuba con condiciones optimas

El periodo en el cual la cuba estará laborando es aproximadamente de 40 minutos para el primer ensayo y para el segundo ensayo es de 80 minutos, con el fin de brindar una adecuada disposición del cobre en la placa de acero y por ende el mecanismo se efectuó de manera óptima.

Respecto a los primeros ensayos, la T° se va calculando dentro de un periodo de 10 minutos con el fin de obtener una deposición de cu adecuada y optima, ya que la T° es un factor influyente en la electrodeposición de cobre. Por ende, la temperatura tiene que estar a más poder en el rango de $40^{\circ}C$ a $45^{\circ}C$.

Para el segundo ensayo solo se calcula el inicio y el final de la T° , el cual fue de $40.4^{\circ}C$ y $44.2^{\circ}C$.

4.4.3. Resultados obtenidos de la evaluación cuba de electrodeposición

Finalmente, terminadas los ensayos de evaluación respecto al funcionamiento de la cuba de electrodeposición, se somete a desmontar la misma, empezando por sacar los cables conectados a las placas, y así mismo también los equipos de corriente, con la finalidad de laborar de una manera más segura.

Con el fin de hallar el rendimiento del mecanismo realizado, se quitan las placas de la cuba y se someten a un pesado con el fin de encontrar el peso exacto del cobre depositado en todos los ensayos, así como se aprecia en las siguientes imágenes:

Posteriormente obtenido los cálculos efectuados por la balanza electrónica y terminado el mecanismo de electrodeposición, se somete a efectuar una simple operación de resta, el cual nos permitirá determinar cuál es la cantidad de cobre depositado dentro del cátodo de acero, lo cual se determina de la siguiente manera:

Tabla 3. *Masa de cobre depositada en ambos ensayos*

	Tiempo (minutos)	Voltaje	Amperaje	Masa de cobre depositada (gramos)
Ensayo 1	40	1.9	1.2	5.70
Ensayo 2	80	1.9	1.2	10.1
Ensayo 3	120	1.9	1.2	14.4

Fuente: Elaboración propia

Capítulo V: DISCUSIÓN

De acuerdo con la investigación realizada en comparación con la tesis mencionada en el marco teórico denominado “ construcción de una celda de electro obtención de cobre” presentado por el investigador Villalobos (2017) se indico de manera detallada que durante un tiempo de 30 minutos se obtuvo una masa de 2.48 gramos de cobre a comparación de la tesis investigada la cual fue de 5.70 gramos durante 40 minutos lo cual se tiene concordancia, a pesar que la cantidad de cobre depositado en los tiempos varia, por lo que es aceptado en la investigación realizada.

Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se realizó de manera eficiente la construcción de la cuba de electrodeposición a nivel de laboratorio, cuidando de los factores y parámetros negativos dentro del proceso, así mismo se obtuvo un buen porcentaje de cobre obtenido en los tres ensayos de muestra dentro del laboratorio.

Los tipos de electrodos empleados e utilizados para el mecanismo de electrodeposición fueron dos, denominados cátodo y ánodo, el cátodo fue de acero, el cual presentó las dimensiones de 10 cm x 12 cm x 15 cm, mientras que el ánodo fue de plomo cuyas dimensiones fueron de 5 cm x 0.2 cm x 10 cm, las dimensiones y tipo de electrodos fueron escogidos respecto a la bibliografía indagada.

Los factores principales que influyen de manera directa dentro del mecanismo de electrodeposición fueron varios, entre los más resaltantes tenemos: el control de impurezas presente dentro del electrolito, la densidad de corriente y la temperatura, las cuales fueron adecuadas y óptimas respecto al mecanismo de electrodeposición presentando una densidad de corriente de 350 A/m² y una temperatura de 40°C.

El rendimiento obtenido en los tres ensayos realizados indica que en el primero se obtuvo una masa de cobre de 5.70 depositada dentro del electrodo, en el segundo ensayo la masa del cobre depositada fue de 10.1 y en el último ensayo la masa del cobre fue de 14.4 gramos, por ende, deducimos que de los 20 gramos que representa el 100% de cobre existente dentro de la disolución, se pudo recuperar un 72% de cobre disuelto.

5.2. Recomendaciones

Una de las recomendaciones más importantes dentro del mecanismo de electrodeposición sería probar con mayores tiempos de obtención de cobre y así mismo

también con diferentes materiales de electrodos, también regular un amperaje mayor con la finalidad de que el proceso sea un poco más eficiente.

Otra recomendación sería diseñar una cuba de electrodeposición que abarque una mayor cantidad de electrodos con el fin de obtener un mayor porcentaje de cobre en un menor tiempo y de manera eficiente.

Capítulo VI: FUENTES DE INFORMACIÓN

6.1. Bibliografía

CHAMORRO, C. G., & JIMENEZ, Y. R. (2011). *“PURIFICACIÓN Y ELECTRODEPOSICIÓN DE COBRE A PARTIR DEL LIXIVIADO DE LA EMPRESA FERROQUÍMICA S.R.L. PARA OBTENER COBRE ELECTROLÍTICO A NIVEL LABORATORIO”*.

Chinga, V. A., & Murga, A. A. (2016). *Efecto de la temperatura, la concentración de sulfato de cobre (4.5×10^{-2}) y ácido sulfúrico (2×10^{-4}) en el electrolito, sobre la electrodeposición de cobre en cátodos de acero inoxidable 316L..* Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9301>

FRANKLIN, C. M. (2018). *“Implementación de un Convertidor de Corriente para Mejorar la Recuperación de Oro y Plata en las Celdas Electrolíticas en la Empresa Minera SOTRAMI S.A”*. Obtenido de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/2211>

Gutierrez, E. R. (2019). *RECUPERACIÓN DE COBRE A PARTIR DE LA MALAQUITA UTILIZANDO SOLUCIONES DE TARTRATO MEDIANTE PROCESO DE LIXIVIACIÓN, PUNO 2017*. Puno, Peru. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11551/Esteban_Rey_Cha vez_Gutierrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hernandez, D. U. (2013). *Electrodeposicion y caracterizacion de recubrimientos de Ni-P*. Obtenido de <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/291/1/Electrodeposición%20y%20caracterización%20derecubrimientos%20de%20Ni-P.pdf>

- Hernandez, P. A. (2006). *Diseño, construcción y optimización de una celda de electro obtención de cobre con cátodo particulado móvil basada en electrodiálisis reactiva*. Santiago de Chile. Obtenido de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/arriagada_p/sources/arriagada_p.pdf
- Leludak, F. T. (2013). *Celula de Hidrogeno: Estudio y construcción de una celula electrolítica para la producción de hidrogeno gaseoso*. Obtenido de <https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/viewFile/25/24>
- Martins, L. F. (1996). *Electrodeposición de cobre sobre silicio de tipo monocristalino*. Santa Catarina. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/30357677.pdf>
- Ortega, S. C. (2016). *Evaluación de los parámetros para el diseño y construcción de una celda electro obtención para recuperar oro*. Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2994/Cruz_Ortega_Simon.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rivera, S. A. (2015). *Diseño de una planta para la recuperación de oro a partir de minerales sulfurados con tiosulfato de sodio como agente lixivante*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10441?locale=de>

ANEXOS

Anexo 01: Cálculos para el porcentaje de eficiencia de la celda de electrodeposición

En total se realizaron un total de tres ensayos, cada ensayo estuvo diferenciado del tiempo de electrodeposición dentro de la cual, todos estuvieron a un mismo voltaje siendo este 1.9 y un amperaje de 1.2, empleando la siguiente fórmula deducimos el porcentaje de obtención de cobre.

$$= \frac{(\quad) - (\quad)}{\quad} 100\%$$

Ensayo 1:

Peso del Cátodo antes de la electrodeposición = 32 gramos

Peso del Cátodo después de la electrodeposición = 37.7 gramos

Tiempo de electrodeposición = 40 minutos

Masa de Cobre en la disolución = 20 gramos

$$= \frac{37.7 - 32}{20} 100\% = 28.50\%$$

Ensayo 2:

Peso del Cátodo antes de la electrodeposición = 32 gramos

Peso del Cátodo después de la electrodeposición = 42.10 gramos

Tiempo de electrodeposición = 40 minutos

Masa de Cobre en la disolución = 80 gramos

$$= \frac{42.1 - 32}{20} 100\% = 50.50\%$$

Ensayo 3:

Peso del Cátodo antes de la electrodeposición = 32 gramos

Peso del Cátodo después de la electrodeposición = 46.4 gramos

Tiempo de electrodeposición = 120 minutos

Masa de Cobre en la disolución = 20 gramos

$$= \frac{46.4 - 32}{20} \cdot 100\% = 72.00\%$$