



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DE UN EQUIPO DE COBREADO, PARA MEJORAR LA  
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y PROTECCIÓN DE BARRAS  
DE CONEXIÓN A TIERRA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: DIEGO GUSTAVO ROMERO CAIZA**

**DIRECTORA: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Diego Gustavo Romero Caiza**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Diego Gustavo Romero Caiza, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 7 de diciembre de 2023



**Diego Gustavo Romero Caiza**

**060551852-1**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN EQUIPO DE COBREADO, PARA MEJORAR LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y PROTECCIÓN DE BARRAS DE CONEXIÓN A TIERRA**, realizado por el señor: **DIEGO GUSTAVO ROMERO CAIZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

**FIRMA**

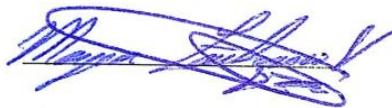
**FECHA**

Ing. Mónica Lilian Andrade Avalos  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



2023-12-07

Ing. Maya Paola Zambrano Vinuesa  
**DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-12-07

Ing. Jacqueline Marlene García Veloz  
**ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-12-07

## **DEDICATORIA**

A mi amada madre, cuyo amor incondicional y sacrificio han sido la base de mi fortaleza y determinación. A mis hermanos, por su apoyo constante y aliento en cada paso que he dado. A mi estimada enamorada, quien ha compartido esta travesía conmigo, brindándome su apoyo, comprensión y paciencia. Y a mi querido abuelito, cuya sabiduría y guía han sido una inspiración constante para poder concluir de la mejor manera este trabajo. Su legado y consejos han iluminado mi camino hacia este logro. Esta tesis es un tributo a cada uno de ustedes. Sin su influencia, compromiso y amor, este éxito no habría sido posible. Cada página, cada palabra, lleva una parte de su esencia.

Diego

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por iluminar mi camino, brindarme la fuerza y la sabiduría necesarias para superar los desafíos y alcanzar este logro. Expresar mi gratitud a mis tutores académicos cuya orientación experta y dedicación han sido un faro en este proceso. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, mi institución educativa, agradezco por brindarme la plataforma y recursos necesarios para llevar a cabo este estudio. No puedo dejar de agradecer a la empresa “Construcciones Montajes y Automatización”, por abrirme sus puertas y permitirme llevar a cabo las pruebas cruciales para este proyecto, les agradezco por su colaboración y apoyo. A mi familia, mi abuelito quien con su sabiduría, orientación y apoyo incondicional fueron una guía fundamental en la realización de las pruebas y en la generación de ideas clave en el transcurso de este trabajo, les debo un agradecimiento infinito.

Diego

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Planteamiento del Problema.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Justificación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<i>1.3.1 Objetivo General.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>3</i>

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Antecedentes de investigación.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Referencias Teóricas.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1 Corrosión.....</b>	<b>5</b>
<i>2.2.1.1 Generalidades.....</i>	<i>5</i>
<i>2.2.1.2 Causa de la corrosión.....</i>	<i>5</i>
<i>2.2.1.3 Potencial electroquímico.....</i>	<i>6</i>
<i>2.2.1.4 Tipos de corrosión.....</i>	<i>6</i>
<b>2.2.2 Principios de electroquímica.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3 Electrolisis.....</b>	<b>9</b>
<i>2.2.3.1 Celdas electroquímicas.....</i>	<i>10</i>
<b>2.2.4 Oxidación y Reducción.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.5 Ley de Faraday.....</b>	<b>12</b>
<i>2.2.5.1 Primera Ley.....</i>	<i>12</i>
<i>2.2.5.2 Segunda Ley.....</i>	<i>13</i>

<b>2.2.6</b>	<b>Recubrimientos metálicos</b> .....	13
2.2.6.1	Galvanoplastia o Electrodeposición.....	13
2.2.6.2	Tipos de recubrimientos más usados.....	14
2.2.6.3	Cobre.....	14
2.2.6.4	Varilla de cobre para puesta a tierra o Barras de conexión a tierra.....	15
2.2.6.5	Baños Electrolíticos del cobre.....	16
<b>2.2.7</b>	<b>Efecto de las condiciones de trabajo en la naturaleza de los depósitos</b> .....	16
2.2.7.1	Densidad de corriente .....	17
2.2.7.2	Agitación.....	17
2.2.7.3	Temperatura .....	17
2.2.7.4	Naturaleza del catión y anión.....	17
2.2.7.5	Concentración iónica .....	18
2.2.7.6	pH (Potencial de Hidrógeno).....	18
2.2.7.7	Poder de penetración.....	18
2.2.7.8	Superficies catódicas .....	19
2.2.7.9	Superficie catódica aparente .....	19
2.2.7.10	Disposición de las piezas en las cubas.....	19
2.2.7.11	Dispositivos y accesorios.....	19
<b>2.2.8</b>	<b>Procesos de preparación de superficies para electrodeposición</b> .....	21

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	22
<b>3.1</b>	<b>Tipo de Estudio</b> .....	22
3.1.1	Estudio Exploratorio .....	22
3.1.2	Estudio Experimental .....	22
<b>3.2</b>	<b>Experimentación</b> .....	22
3.2.1	Diagrama del proceso .....	23
3.2.2	Materiales utilizados .....	29

### CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	33
<b>4.1</b>	<b>Cobreado con agua acidulada (20% de HCl)</b> .....	33
4.1.1	Masa que se ha depositado (g) .....	33
4.1.2	Rendimiento del cátodo .....	33

4.1.3	<i>Peso del recubrimiento obtenido mediante el rendimiento</i>	34
4.1.4	<i>Tiempo del baño electroquímico</i>	35
4.1.5	<i>Espesor del recubrimiento</i>	37
4.2	<b>Cobreado con agua acidulada (2% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</b>	38
4.2.1	<i>Masa que se ha depositado (g)</i>	38
4.2.2	<i>Rendimiento del cátodo</i>	38
4.2.3	<i>Peso del recubrimiento obtenido mediante el rendimiento</i>	39
4.2.4	<i>Tiempo del baño electroquímico</i>	40
4.2.5	<i>Espesor del recubrimiento</i>	42
4.3	<b>Cobreado con sulfato de cobre</b>	43
4.3.1	<i>Masa que se ha depositado (g)</i>	43
4.3.2	<i>Rendimiento del cátodo</i>	43
4.3.3	<i>Peso del recubrimiento obtenido mediante el rendimiento</i>	44
4.3.4	<i>Tiempo del baño electroquímico</i>	45
4.3.5	<i>Espesor del recubrimiento</i>	47
4.4	<b>Análisis de las diferentes pruebas con los métodos de cobreado</b>	48
4.5	<b>Diseño del proceso</b>	53
4.5.1	<i>Selección del rectificador</i>	53
4.5.2	<i>Dimensiones de la cuba electrolítica</i>	54
4.5.3	<i>Diseño del equipo de cobreado</i>	55
4.6	<b>Validación económica del proyecto</b>	55
4.6.1	<i>Inversión Fija</i>	56
4.6.2	<i>Proyección de gastos de producción</i>	57
4.6.3	<i>Capital de operaciones</i>	57
4.6.4	<i>Inversión total</i>	58
4.6.5	<i>Costo de producción anual</i>	58
4.6.6	<i>Cálculo del precio de venta al público</i>	58
4.6.7	<i>Puesta en marcha del proyecto</i>	59
4.6.8	<i>Punto de equilibrio</i>	59
4.6.9	<i>Utilidad neta</i>	60
4.6.10	<i>Valor actual neto (VAN)</i>	61
4.6.11	<i>Tasa interna de retorno (TIR)</i>	62
4.6.11.1	<i>Cálculo del TIR</i>	62
4.6.11.2	<i>Comprobación del TIR</i>	63
4.6.12	<i>Periodo de recuperación</i>	63

<b>CONCLUSIONES</b> .....	65
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	66
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 4-1:</b> Tabla de Evaluación del proceso de cobreado con agua acidulada (20% HCl) .....	48
<b>Tabla 4-2:</b> Tabla de Evaluación del proceso de cobreado con sulfato de cobre .....	50
<b>Tabla 4-3:</b> Tabla de Evaluación del proceso de cobreado con agua acidulada (2% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ....	52
<b>Tabla 4-4:</b> Costos de infraestructura .....	55
<b>Tabla 4-5:</b> Costos de sustancias .....	55
<b>Tabla 4-6:</b> Costos de materiales .....	56
<b>Tabla 4-7:</b> Presupuesto de la Inversión Fija del proyecto .....	56
<b>Tabla 4-8:</b> Proyección de gastos de producción.....	57
<b>Tabla 4-9:</b> Costo de trabajadores en la empresa.....	57
<b>Tabla 4-10:</b> Costos de servicios básicos .....	57
<b>Tabla 4-11:</b> Capital de operaciones.....	57
<b>Tabla 4-12:</b> Inversión total.....	58
<b>Tabla 4-13:</b> Costo de producción anual .....	58
<b>Tabla 4-14:</b> Puesta en marcha del proyecto .....	59
<b>Tabla 4-15:</b> Flujo de caja en 5 años proyectados .....	61
<b>Tabla 4-16:</b> Valor Actual Neto (VAN) .....	62
<b>Tabla 4-17:</b> Tasa interna de retorno (TIR) .....	62
<b>Tabla 4-18:</b> Comprobación del TIR .....	63
<b>Tabla 4-19:</b> Periodo de recuperación .....	63

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Corrosión del acero.....	5
<b>Ilustración 2-2:</b> Serie galvánica para algunos metales y aleaciones comunes.....	6
<b>Ilustración 2-3:</b> Electrólisis del Cloruro Sódico .....	10
<b>Ilustración 2-4:</b> Proceso de la celda galvánica .....	10
<b>Ilustración 2-5:</b> Proceso de la celda electrolítica.....	11
<b>Ilustración 2-6:</b> Diferentes recubrimientos metálicos.....	13
<b>Ilustración 2-7:</b> Proceso de Galvanoplastia .....	14
<b>Ilustración 2-8:</b> Elemento químico-Cobre .....	15
<b>Ilustración 2-9:</b> Varilla de cobre para puesta a tierra .....	15
<b>Ilustración 3-1:</b> Diagrama de flujo del proceso de cobreado.....	23
<b>Ilustración 3-2:</b> Obtención de la varilla de acero.....	24
<b>Ilustración 3-3:</b> Pulido de la varilla de acero.....	24
<b>Ilustración 3-4:</b> Desengrase de la varilla de acero.....	25
<b>Ilustración 3-5:</b> Lavado con agua .....	25
<b>Ilustración 3-6:</b> Decapado con el ácido clorhídrico.....	26
<b>Ilustración 3-7:</b> Lavado con agua .....	26
<b>Ilustración 3-8:</b> Preparación del electrolito .....	27
<b>Ilustración 3-9:</b> Armado e instalación del equipo de cobreado .....	27
<b>Ilustración 3-10:</b> Agitación y tiempo esperado .....	28
<b>Ilustración 3-11:</b> Baño de la barra en agua destilada.....	28
<b>Ilustración 3-12:</b> Secado de la varilla de acero.....	28
<b>Ilustración 3-13:</b> Equipo de protección requerido .....	29
<b>Ilustración 3-14:</b> Rectificador.....	29
<b>Ilustración 3-15:</b> Cuba electrolítica PVC .....	30
<b>Ilustración 3-16:</b> Cable de luz de cobre.....	30
<b>Ilustración 3-17:</b> Barra de grafito .....	31
<b>Ilustración 3-18:</b> Varilla SAE 1020 de 30 cm .....	31
<b>Ilustración 3-19:</b> Pipeta .....	32
<b>Ilustración 3-20:</b> Recipiente volumétrico .....	32
<b>Ilustración 3-21:</b> Cables de dientes de caimán .....	32
<b>Ilustración 4-1:</b> Prototipo del equipo de cobreado con agua acidulada (al 20% de HCl).....	49
<b>Ilustración 4-2:</b> Varilla de acero de 30 cm antes y después del cobreado .....	49
<b>Ilustración 4-3:</b> Prototipo del equipo de cobreado con sulfato de cobre .....	51

<b>Ilustración 4-4:</b> Varilla de acero de 30 cm antes y después del cobreado .....	51
<b>Ilustración 4-5:</b> Prototipo del equipo de cobreado con agua acidulada (al 2% de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	52
<b>Ilustración 4-6:</b> Varilla de acero de 30 cm antes y después del cobreado .....	53
<b>Ilustración 4-7:</b> Rectificador.....	54
<b>Ilustración 4-8:</b> Dimensiones de la cuba electrolítica PVC.....	54
<b>Ilustración 4-9:</b> Diseño del equipo de cobreado para varillas de acero .....	55

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** CONSTANTES ELECTROQUÍMICAS DE LOS METALES
- ANEXO B:** PREPARACIÓN DE LA BARRA DE 30 CM
- ANEXO C:** COMPONENTES DE LA SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA
- ANEXO D:** PREPARACIÓN DEL ELECTROLITO
- ANEXO E:** ELECTROLITOS DE LOS MÉTODOS DE COBREADO
- ANEXO F:** PROTOTIPO DEL EQUIPO DE COBREADO
- ANEXO G:** PESO DE LA BARRA ANTES Y DESPUÉS DEL COBREADO
- ANEXO H:** BARRA DE 30 CM ANTES Y DESPUÉS DEL COBREADO

## RESUMEN

La corrosión en materiales metálicos es un problema en diferentes sectores. El cobreado, que protege contra la corrosión y mejora la conductividad eléctrica en barras de acero, no está disponible localmente. Este proyecto busca aplicar métodos como la galvanoplastia para resolver esta situación y mejorar las propiedades de los componentes metálicos, por lo que el objetivo del presente proyecto fue diseñar un equipo de cobreado para mejorar la conductividad eléctrica y protección de barras de conexión a tierra. El estudio se desarrolló utilizando un enfoque exploratorio y experimental. Se realizó una revisión bibliográfica para recopilar información sobre los procesos de galvanoplastia y fundamentos teóricos relacionados con la conductividad eléctrica y electroquímica. Asimismo, se llevó a cabo experimentos para determinar las variables óptimas, como la concentración del electrolito, el tipo de ánodo, cátodo y los parámetros de voltaje e intensidad. Se realizaron pruebas comparativas utilizando diferentes métodos de cobreado, como con el ácido clorhídrico que obtuvo un voltaje de 3,34 V, una corriente de 2,48 A en un tiempo establecido de 30 minutos, con el ácido sulfúrico que obtuvo un voltaje de 4,5 V, una corriente de 1,87 A en un tiempo establecido de 5 minutos y con el sulfato de cobre que obtuvo un voltaje de 6,5 V, una corriente de 0,43 A en un tiempo establecido de 5 minutos, además se evaluaron los resultados en términos de calidad del recubrimiento, utilizando escalas de calificación. En conclusión, se logró determinar las variables cruciales en el proceso de cobreado, lo que permitió identificar el método más adecuado para aplicar en las barras de conexión a tierra. Estableciendo parámetros técnicos, se sentaron las bases para el diseño eficiente del equipo de cobreado. Además, la confirmación de la factibilidad económica del equipo que respalda la viabilidad del proyecto.

**Palabras clave:** <GALVANOPLASTIA>, <COBREDO>, <BARRAS DE CONEXIÓN A TIERRA>, <CORROSIÓN>, <ELECTROQUÍMICA>, <VARILLA DE ACERO>, <OXIDACIÓN>, <REDUCCIÓN>.

2084-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY / ABSTRACT

Corrosion in metallic materials is a problem in different sectors. Copper plating, which protects against corrosion and improves electrical conductivity in steel bars, is not available locally. This project seeks to apply methods such as electroplating to solve this situation and improve the properties of metallic components, so the objective of this project was to design a copper plating equipment to improve the electrical conductivity and protection of grounding bars. The study was developed using an exploratory and experimental approach. A literature review was carried out to gather information on electroplating processes and theoretical fundamentals related to electrical and electrochemical conductivity. Experiments were also carried out to determine the optimum variables, such as electrolyte concentration, type of anode, cathode, voltage and current parameters. Comparative tests were carried out using different copper plating methods, such as with hydrochloric acid which obtained a voltage of 3.34 V, a current of 2.48 A in a set time of 30 minutes, with sulfuric acid which obtained a voltage of 4.5 V, a current of 1.87 A in a set time of 5 minutes and with copper sulfate which obtained a voltage of 6.5 V, a current of 0.43 A in a set time of 5 minutes, also the results were evaluated in terms of quality of the coating, using qualification scales. In conclusion, it was possible to determine the crucial variables in the copper plating process, which allowed identifying the most adequate method to apply on the grounding bars. By establishing technical parameters, the basis for the efficient design of the copper plating equipment was established. In addition, the economic feasibility of the equipment supported the viability of the project was confirmed.

**Keywords:** <GALVANOPLASTY>, <COBREATED>, <GROUNDING BARS>, <CORROSION>, <ELECTROCHEMISTRY>, <STEEL ROD>, <OXIDATION>, <REDUCTION>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

1103696132

## INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas de mayor envergadura en los sectores de la economía local, productiva e industrial, como por ejemplo la industria mecánica, automotriz, construcción, hospitalaria, joyería, electrónica es la corrosión; que se entiende por un proceso que conlleva a la pérdida del material o al desgaste de la superficie del metal. Estas pérdidas de material ocasionan costos extras elevados en las empresas, los cuales perjudican notablemente en el desempeño de las mismas. Para contrarrestar su efecto destructivo se han desarrollado una serie de procesos dentro de la galvanoplastia.

Esta técnica comprende el conjunto de operaciones necesarias para poder recubrir la superficie de una pieza, con una sustancia generalmente metálica. Con la ayuda de la corriente eléctrica y una solución química adecuada, se logra desprender del ánodo, partículas metálicas que se fijan sobre la pieza a recubrir en este caso el cátodo. Es de vital importancia establecer técnicas de protección de metales para obtener materiales de mayor duración y con alta resistencia frente a la corrosión. Con la realización de este proyecto también se lograría la generación de empleos que beneficiaran a la población, traduciéndose esto en una mayor dinamización económica.

El presente documento tiene como desarrollo el proceso de cobreado para tres métodos con el agua acidulada (20% de HCl), agua acidulada (2% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y sulfato de cobre en barras de 30 cm. Las variables a tomar en cuenta para el proceso son: voltaje, temperatura, tiempo del proceso, concentración del electrolito, mismos que varían de acuerdo al tipo de material y al recubrimiento que deseamos obtener. De esta manera, se diseñó un prototipo de un equipo de cobreado, para mejorar la conductividad eléctrica y protección de barras de conexión a tierra, que sea rentable y además que ayude con la parte del aprendizaje de los recubrimientos metálicos y de esta gran área de la galvanoplastia.

# **CAPÍTULO I**

## **1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

La corrosión en los materiales metálicos consiste en procesos de degradación por medio de reacciones electroquímicas y químicas, ya que estos materiales intentan lograr un estado de menor energía potencial. Este tipo de reacciones se presenta de manera constante y repetida en varios sectores de la economía local, como por ejemplo la industria mecánica, automotriz, construcción, hospitalaria, joyería, electrónica, etc. (NOGUERA, 2020).

Generalmente el apareamiento de la oxidación y corrosión es causado por factores inherentes al conocimiento general de las personas, como por ejemplo la aglomeración de gotas de agua a partir de la condensación de la humedad, el mal tratamiento en la fase de transporte y almacenaje, elevada temperatura y humedad estando en reposo, y manejo inadecuado de los materiales (ÁLVAREZ, 2021).

Las barras de acero cubiertas con finas capas de cobre en la galvanoplastia conocido como cobreado, protege la barra de hierro de la oxidación y mejora la conductividad eléctrica porque estas barras de conexión a tierra se conectan introduciendo en la tierra aproximadamente un metro y medio al pie de todos los domicilios para que proteja de cualquier descarga eléctrica como un rayo fuerte o por altos voltajes en la red, para que no se quemen los aparatos electrodomésticos de las casas como la televisión, computadoras, etc. Entonces la energía eléctrica se descarga a través de estas barras hacia la tierra y protegen a estos equipos.

Procesos idóneos para prevenir esta problemática, como la galvanoplastia no se ofrecen a nivel local y ya que ciertos elementos o componentes metálicos requieren ser cubiertos con finas capas de otro metal para protegerlos de la corrosión, oxidación, rayaduras, como también para obtener una buena conducción eléctrica y también para la estética o embellecimiento de joyas; el presente proyecto pretende solucionar las contrariedades antes mencionadas de manera práctica y eficiente.

### **1.2 Justificación**

En la actualidad los procesos de galvanoplastia o electrodeposición en piezas metálicas se han convertido en algo de suma relevancia en todos los ámbitos de producción y servicios dentro de cada ciudad. A más de proteger a la superficie de las diversas piezas contra la corrosión y de

efectos erosivos del entorno, la electrodeposición permite aumentar la resistencia de los materiales, al igual que cambiar las propiedades de la superficie de los metales para hacerlos más conductores, etc. Además, es un método económico, ya que permite recubrir metales con costos relativamente bajos, economizando en aleaciones metálicas, algo de suma importancia para la industria.

La Escuela de Ingeniería Química desde su creación se caracteriza por formar profesionales de excelencia en los campos académicos y competitivos en el ámbito laboral, aportando de esta forma al desarrollo de la provincia, no sólo haciendo énfasis en la formación científica-técnica que el estudiante pueda recibir, sino que el real compromiso se orienta a la formación de estudiantes emprendedores, siendo la razón para que los futuros ingenieros químicos puedan contribuir a la mejora de la misma.

El presente proyecto propone diseñar un equipo de cobreado, que permita observar de manera práctica los fenómenos que se producen durante este proceso e incentivar de esta manera al estudiante a realizar investigaciones en el campo de la galvanoplastia. De ese modo, se pretende apoyar al desarrollo del conocimiento, adaptando la base teórica a la práctica y poder ofrecer a la sociedad profesionales de alta capacidad que respondan a los requerimientos del campo laboral.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

- Diseñar un equipo de cobreado, para mejorar la conductividad eléctrica y protección de barras de conexión a tierra.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Determinar las variables idóneas que intervienen en el proceso de cobreado.
- Definir el mejor método para el cobreado de las barras de conexión a tierra.
- Establecer los parámetros técnicos para el diseño del equipo de cobreado.
- Validar la factibilidad y viabilidad económica del equipo de cobreado.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de investigación

De acuerdo a NARANJO et al. (2022) ejecutaron un artículo científico sobre la “Caracterización del alambre de cobre y recubrimiento de acero por medio de electrólisis” donde el objetivo de los respectivos estudios hablaba de las características del alambre de acero y el metal cobre, ya que es un metal que puede tratarse en calor y en frío, teniendo elevada conductividad térmica y eléctrica, resistencia a la corrosión y poseer un color llamativo, lo que le hace ideal para la transferencia de iones. A través del procedimiento de la electrólisis se apreció el traspaso de iones entre el cobre y alambre de acero. Al concluir el experimento se mostró las propiedades mecánicas que se crearon luego del recubrimiento, se estableció sus beneficios al efectuar la electrólisis y se evidenció al emplear diversos tipos de cargas en el alambre recubierto. Los resultados conseguidos tras los experimentos de caracterización presentan que la aleación acero cobre muestra mejores propiedades mecánicas. Para lograr el recubrimiento de cobre en alambres de acero con mayor maleabilidad, menor pérdida de volumen y resistencia a la corrosión se empleó; 2,2 L de agua; 0,96 L de ácido muriático, a 12 voltios a lo largo de 40 minutos para 1 metro de alambre.

Acorde con la investigación PALLO (2022) desempeño como tema de tesis “Economía circular para la recuperación de cobre de los lodos que genera el proceso de desgrabado de cilindros de la empresa Sigmaplast” en el cual el objetivo fue explicar de forma experimental la posibilidad de recuperación del metal cobre de los residuos (lodos y viruta) provenientes de la elaboración de cilindros y reutilizarlo en el proceso de cobreado de la misma empresa, empleando los principios de economía circular: reducir, reciclar y reutilizar. Los procesos de recuperación de metales por medio de los tratamientos químicos reducen el uso de materia prima, ahorro de dinero y un menor impacto en el medio ambiente. En esta investigación se examina, determina y evalúa el proceso de recuperación de cobre de una prueba de lodo residual resultante del proceso de preparación de cilindros de la empresa Sigmaplast. La parte experimental se comenzó con la exploración de datos de la caracterización de estos residuos donde se registraron concentraciones de 62% Cu y menos de 1% de otros metales (Cr, Pb, Ni, Zn). Se utilizó un procedimiento químico de digestión ácida empleando ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) para la fabricación de cristales de nitrato de cobre hexahidratado (Cu (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>\*6H<sub>2</sub>O) que se puede reutilizar en el proceso de cobreado empleando los principios de economía circular. Del respectivo proceso se logró un rendimiento del 58,17% en la

recuperación de cobre reduciendo sustancialmente el volumen de residuos para dicha empresa, brindando importantes beneficios económicos y ambientales de suma importancia.

## **2.2 Referencias Teóricas**

### **2.2.1 Corrosión**

Se denomina corrosión al proceso electroquímico de oxidación ocasionado por la interacción entre los distintos materiales y el medio ambiente (atmósfera, suelo, agua, etc). Además, el tipo de metal como las condiciones ambientales, especialmente los gases y otros fluidos que entran en contacto con el metal, determinan la forma y la velocidad de la degradación (VALLE, et al., 2001).

#### **2.2.1.1 Generalidades**

El término corrosión suele hacer referencia al ataque de los metales, no obstante, otros materiales no metálicos, como la cerámica y los polímeros, también pueden resultar dañados por el ataque químico directo, aunque en estos casos se suele utilizar el término degradación. Las reacciones que se generan dentro del fenómeno de la corrosión necesitan de la naturaleza química del entorno y de la concentración efectiva de las especies reactivas. El efecto de la corrosión es un cambio en las propiedades del material afectado, que puede observarse a través de una pérdida de material (GÓMEZ DE LEÓN , y otros, 2004).



**Ilustración 2-1:** Corrosión del acero

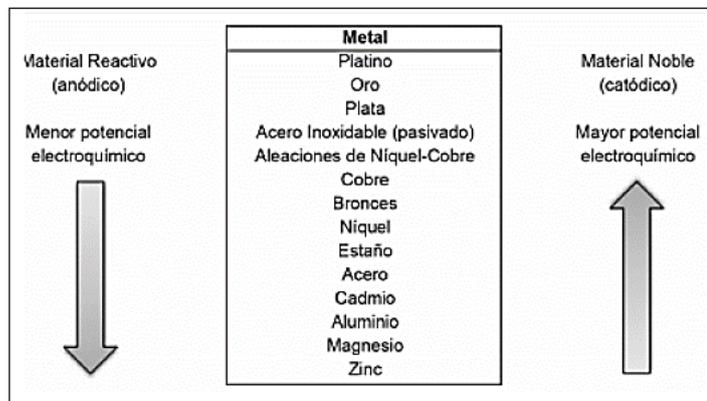
**Fuente:** (TERNIUM, 2020)

#### **2.2.1.2 Causa de la corrosión**

Según SALAZAR (2015) la humedad no controlada y los gases corrosivos son las elementales causas de corrosión en los ambientes industriales. La condensación del vapor de agua sobre las superficies metálicas y los gases corrosivos como el cloro, el amoníaco, los óxidos de azufre, los óxidos de hidrógeno, etc. Consiguen ocasionar la corrosión de las esquinas oxidadas, las piezas corroídas y los equipos electrónicos.

### 2.2.1.3 Potencial electroquímico

Los potenciales electroquímicos son valores que describen la resistencia a la corrosión de los materiales, y estos valores tienden a cambiar dependiendo del electrolito en el que se encuentran sumergidos. La tendencia de este valor a un valor positivo determinará su resistencia a la corrosión, estos materiales son considerados materiales nobles, por el contrario, si el valor de este potencial tiende a un valor negativo, serán más activos para reaccionar ante la corrosión. Los grupos de valores de potencial de metales en la tabla se denominan series galvánicas, donde los metales se ordenan según sus valores de potencial (de positivo a negativo, es decir, decrecientes) (ANDRADE et al., 1991).



**Ilustración 2-2:** Serie galvánica para algunos metales y aleaciones comunes

**Fuente:** (SALAZAR, 2015)

### 2.2.1.4 Tipos de corrosión

Según ALTER et al. (2003) Existen varios tipos de corrosión que le pueden ocurrir a los distintos metales. Se describe algunos de los tipos de corrosión más comunes:

- Corrosión química

Durante la corrosión química los enlaces metálicos pierden electrones (se oxidan) y esto a menudo se trata del deterioro de los metales en carencia de electrolitos (líquidos en donde los metales estén hundidos). Comúnmente, esto ocurre con los metales en forma representativa para temperaturas considerablemente más altas que la temperatura del entorno.

- Corrosión galvánica

Este tipo de corrosión ocurre cuando dos metales diferentes entran en contacto y se encuentran en un medio líquido como el agua salina. A causa del medio, las partículas del metal menos noble, se dirigirán hacia el metal más noble, por ende, el primero se notará perjudicado por la corrosión.

- Corrosión electroquímica

Es cuando la superficie metálica está en contacto con un líquido o electrolito. Al igual que en la oxidación química los átomos metálicos tratarán de ceder electrones a los oxidantes presentes en la respectiva solución, como ejemplo se tienen al tipo de corrosión que experimentan los suelos, los barcos debido a la presencia del agua de mar, la corrosión atmosférica, etc (ALTER, y otros, 2003).

- Corrosión heterogénea

Este tipo de corrosión es donde las zonas afectadas van por la superficie del metal de manera no uniforme, lo cual quiere decir que cada tramo tiene velocidades diferentes por sobre la superficie, Generalmente se dan en corrosión de tipo electroquímico y químico.

- Corrosión por fisuras

Se presenta en zonas donde la existencia del oxígeno es poca en comparación a otras zonas de la superficie metálica, lo cual produce que las partes de la superficie del metal con poca cantidad de oxígeno se comporten como ánodos, completando el circuito y dando paso a la corrosión en estas fisuras.

- Corrosión por erosión

Este tipo de corrosión es aumentada la velocidad por el movimiento entre el medio ambiente y la superficie del metal. Estas se muestran con formas de marcas causadas por la fricción del movimiento sobre la superficie metálica. La corrosión por erosión es típica sobre aleaciones metálicas blandas o débiles, siendo un claro ejemplo las aleaciones de plomo, cobre y aluminio (CALLISTER, 1996).

- Corrosión por picaduras o pitting

Se da en metales que han sido pasivados a causa de la morfología del sistema, las cuales permiten la acumulación de agentes oxidantes y un aumento del PH del medio en el que se encuentra, lo que hace que aumente la corrosión en zonas específicas.

- Corrosión por microorganismos (microbiológico)

Este es un tipo de corrosión que se da, como su nombre lo indica, por microorganismos, dado que estos facilitan la corrosión debido a sus procesos naturales. El porqué de la corrosión radica en la forma que tienen de crecer los microorganismos, estos se agrupan y empiezan a alimentarse por osmosis, produciendo así, variaciones en las concentraciones de sales y oxígeno, dando paso a la corrosión, siendo el más común el proceso del pitting (CARRANZA, et al., 2010).

- Corrosión por exfoliación

Es un tipo de corrosión el cual se da en uniones de dos metales, se la reconoce por el espacio que proporciona los productos de la corrosión, separando así al metal, por lo que se considera a esta una corrosión en la que empieza sobre una superficie limpia y, debido a la expansión de la corrosión, se esparce produciendo así una apariencia escamosa que se da sobre la superficie de esta.

- Corrosión selectiva

Este proceso se da cuando en una aleación, uno de los metales que lo componen se encuentran en mayor actividad, dando paso a un proceso llamado descincificación, siendo un ejemplo típico cuando ocurre con el zinc en aleaciones del latón. Esta se produce en soluciones que contienen dióxido de carbono y cloruros.

- Corrosión localizada

El ataque localizado aparece siempre como consecuencia de una variedad del sistema, puede ser químicos o metálicos (distinta composición química o estructura metálica localizada). Ya que, una zona del metal se corroe velozmente que las otras.

- Corrosión intergranular

El ataque o corrosión intergranular se muestra como una zona muy estrecha de ataque que se extiende en el curso de los límites de grano. Este tipo de ataque se extiende hasta inutilizar el material por completo, desintegrando totalmente una pieza metálica (EVANS, 2003).

- Corrosión por tensión

Este tipo de corrosión se da cuando, debido a la tensión por la que es sometido un metal ya sea de manera externa o interna, conforme a la fricción se forman pequeños rasguños, que empiezan a corroerse con el tiempo (CARRANZA, et al., 2010).

- Corrosión por fatiga

Al igual que con la corrosión por tensión, la corrosión por fatiga es el proceso de oxidación del metal, cuando este se encuentra sujeto a esfuerzos, con la diferencia de que estos son de manera repetitiva o continua, dando paso a la corrosión por las fisuras formadas sobre la superficie del metal (ALTER, y otros, 2003).

### 2.2.2 Principios de electroquímica

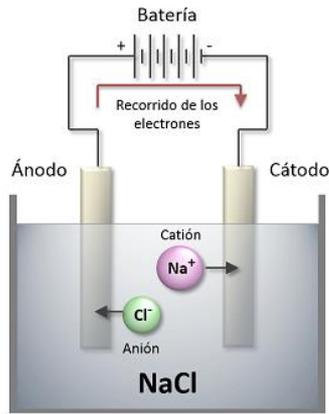
Para COEURET (1992) la electroquímica es la rama de la *química* que emplea la relación entre las corrientes eléctricas y las reacciones químicas, y de la conversión de la energía química en eléctrica y viceversa. El tema de la electroquímica se ha dividido en la electrólisis que se relaciona con las reacciones químicas que se provocan por medio de la acción de una corriente eléctrica, y la otra se refiere a las reacciones químicas que ocasionan una corriente eléctrica, este proceso se efectúa en una celda o pila galvánica.

### 2.2.3 Electrolisis

Según DUARTE (2011) la electrólisis es un proceso químico a través del cual se dividen los elementos de un compuesto químico con el uso de corriente eléctrica. Los electrones son expulsados en el ánodo por los aniones, causando una oxidación, y los electrones son capturados en el cátodo por los cationes, causando una reducción. Cada cual de estos electrodos capta a iones distintos.

La Celda Electrolítica es el aparato donde se lleva a cabo la electrólisis. Consta de:

- **Electrodos:** dos varas de metal insertadas en la dilución (ánodo y cátodo)
- **Electrodo positivo (Ánodo):** unido al positivo de la batería. Lleva a cabo la oxidación del anión.
- **Electrodo negativo (Cátodo):** unido al negativo de la batería. Lleva a cabo la reducción del cátodo.
- **Circuito eléctrico:** une los electrodos a la fuente de corriente continua.
- **Electrolito:** sustancia ionizada en la dilución.



**Ilustración 2-3:** Electrólisis del Cloruro Sódico

Fuente: (QUÍMICAS, 2015)

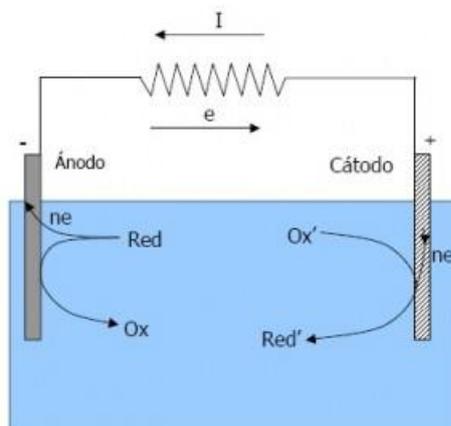
### 2.2.3.1 Celdas electroquímicas

Una celda electroquímica es un dispositivo mediante el cual se puede generar corriente utilizando una reacción química (celda Galvánica). O a la inversa, ocurre una reacción química ofreciendo electricidad al sistema (celda Electrolítica). La celda electroquímica se compone de dos electrodos hundidos en una disolución del electrolito, conectados por un puente salino y unidos a través de un voltímetro que deja pasar los electrones.

#### Tipos de celdas electroquímicas:

##### ➤ Celda Galvánica.

- Generación de corriente a partir de procesos químicos.
- Las reacciones químicas ocurren espontáneamente.
- Se denominan pilas voltaicas o baterías.



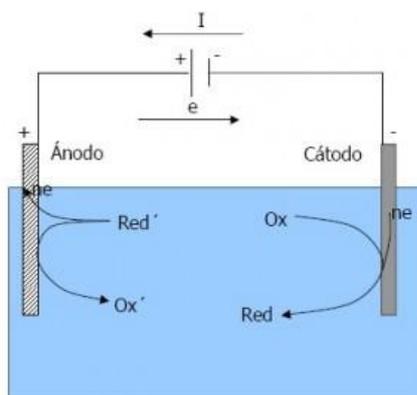
**Ilustración 2-4:** Proceso de la celda galvánica

Fuente: (LÓPEZ, 2010)

➤ Celda electrolítica.

-La reacción no ocurre espontáneamente.

-Sin electricidad. La aplicación de una fuente de energía externa provoca una reacción química (GÓMEZ, y otros, 2002).



**Ilustración 2-5:** Proceso de la celda electrolítica

Fuente: (LÓPEZ, 2010)

#### 2.2.4 Oxidación y Reducción

Según DICKERSON et al. (1992) una reacción redox o también conocida como oxidación–reducción, es una reacción en la que se transfieren electrones entre sustancias químicas (los iones, las moléculas que intervienen en la reacción o los átomos).

- La **oxidación** es una reacción química en el que un grupo de átomos o un átomo pierden electrones.
- La **reducción** es una reacción química en el cual un grupo de átomos o un átomo ganan electrones.

La oxidación y la reducción constantemente suceden conjuntamente debido a que el número de electrones perdidos en la oxidación debe ser similar al número de electrones ganados en la reducción.

- **Oxidante:** es la sustancia química que atrayendo electrones (incrementando su carga negativa o reduciendo su carga positiva) logra la oxidación de otra.
- **Reductor:** es la sustancia química que transfiriendo electrones (incrementando su carga positiva o reduciendo su carga negativa) causa la reducción de otra.

Un ejemplo de redox en este caso el cobre:



### 2.2.5 Ley de Faraday

Para llevar a cabo el proceso de cobreado mediante la electroquímica, es necesario conocer las leyes básicas de la electricidad las mismas que pertenecen a las de Faraday. En 1834, Faraday estableció las relaciones cuantitativas entre la cantidad de corriente eléctrica que se utiliza y la masa de las sustancias causadas por las reacciones de oxidación y reducción ocasionado por la corriente eléctrica. Las conclusiones que logró Faraday son conocidas como leyes de Faraday o Leyes de la electrólisis, las cuales se pueden expresar por medio de los siguientes enunciados:

- La cantidad de sustancia que reacciona ya sea en el cátodo o en el ánodo a lo largo de la electrólisis, es proporcional a la cantidad de corriente (electricidad) que recorre a través del sistema.
- Para que en cada uno de los electrodos reaccione una cantidad de sustancia igual a un equivalente químico, es esencial que a través del sistema traspase una cantidad de corriente equivalente a un mol de electrones (1 Faraday). Numéricamente el producto del número de Avogadro es igual a F por la carga del electrón ( $NA e^-$ ) y aproximadamente es igual a 96500 Coulombios.

#### 2.2.5.1 Primera Ley

Determina que la masa depositada o liberada en 1 electrodo es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que atraviesa el electrolito ya sea fundido o en disolución.

$$m = \frac{E \times I \times t}{F}$$

Donde:

m = masa (g)

E = Peso equivalente (g/Eq)

I = Intensidad de corriente (A)

t = tiempo (s)

F = Faraday (C)

### 2.2.5.2 Segunda Ley

Esta ley nos dice que cuando fluye la misma corriente al mismo tiempo las cantidades de sustancias colocadas dependerán de sus respectivos pesos equivalentes.

$$\frac{m_A}{P_{EqA}} = \frac{m_B}{P_{EqB}} = \frac{m_C}{P_{EqC}}$$

Donde:

$m_{A,B,C}$  = cantidades de sustancias (g)

$P_{EqA,B,C}$  = Pesos equivalentes (q/Eq) → Eq = Peso molecular / valencia (BARRAGÁN , y otros, 2021).

### 2.2.6 Recubrimientos metálicos

Para WENTWORTH (1977) el recubrimiento metálico es un proceso de formación de una capa protectora que se efectúa por deposición sobre la superficie de otro metal para aislarlo de su entorno. En otras palabras, se basa en recubrir a otros materiales con un metal que cuente con potencial electroquímico mayor (esto quiere decir que se obtiene mayor resistencia a la corrosión), con la finalidad que sea éste el que se deteriore.



**Ilustración 2-6:** Diferentes recubrimientos metálicos

Fuente: (MIPSA, 2021)

#### 2.2.6.1 Galvanoplastia o Electrodeposición

Es un proceso en el que por medio de la utilización de electricidad se consigue un recubrimiento de un determinado metal sobre otro, usando para esto, una disolución rica en sales del metal con el que se anhela recubrir a la pieza metálica conocido como electrólisis (FOWLER, 1997).



**Ilustración 2-7:** Proceso de Galvanoplastia

**Fuente:** (RAPID DIRECT, 2022)

#### 2.2.6.2 Tipos de recubrimientos más usados

**Cobreado:** Es un proceso donde su función primordial es poner una capa de cobre encima de materiales como el zamak, latón, acero y hierro. Podemos tener de naturaleza química o electrolítica. Comúnmente, se utiliza para mejorar la conductividad eléctrica.

**Niquelado:** Se basa en el revestimiento de la superficie de una pieza metálica (generalmente de latón, cobre o zamak, acero), con el fin de mejorar su apariencia en elementos ornamentales y aumentar su *resistencia* a la corrosión y a la oxidación.

**Plateado:** Es un proceso que se basa en colocar una delgada capa de plata sobre una pieza de metal que puede ser cobre, latón, zamak o acero. Tiene como fin mejorar la calidad eléctrica suministrando un acabado brillante con una gran ductilidad.

**Zincado:** Es el revestimiento de una pieza de metal con un baño electrolítico de zinc que protege de la corrosión provocada por el contacto con la humedad y el aire.

**Cromado:** Consiste en la aplicación mediante electrólisis de una capa de cromo sobre un objeto de plástico o de otro metal. Puede proporcionar resistencia frente a la corrosión, incrementar su dureza superficial y puede ser decorativa (FOWLER, 1997).

#### 2.2.6.3 Cobre

Es un elemento químico cuyo símbolo es Cu, con masa molar de 63,55 g/mol y número atómico 29, es un importante metal no ferroso y se trata de un metal de transición. Entre las principales particularidades se tiene:

- Presenta excelente ductilidad y maleabilidad.
- Ocurre en algunas estructuras orgánicas.
- Los puntos de ebullición y fusión son muy elevados.
- Posee gran conductividad eléctrica.
- Posee la conductividad térmica más de los metales.
- Es un metal de gran dureza y resistente. (CHEMICAL EDUCATION MATERIAL, 1987, p. 429)



**Ilustración 2-8:** Elemento químico-Cobre

**Fuente:** (EDITORIAL ETECÉ, 2021)

#### 2.2.6.4 *Varilla de cobre para puesta a tierra o Barras de conexión a tierra*

Son varillas de acero que están cubiertas con finas capas de cobre mediante un proceso conocido como cobreado, lo cual protege de la oxidación y mejora la conductividad eléctrica, estas se conectan introduciendo en la tierra aproximadamente un metro y medio al pie de todos los domicilios para que proteja de cualquier descarga eléctrica como un rayo fuerte o por altos voltajes en la red, para que no se quemen los aparatos electrodomésticos de las casas como la televisión, computadoras, etc (LÓPEZ, 2010).



**Ilustración 2-9:** Varilla de cobre para puesta a tierra

**Fuente:** (DIARIO, 2021)

### 2.2.6.5 Baños Electrolíticos del cobre

- **Baños de cobre cianurados**

Estos baños han sido utilizados como un recubrimiento primario para otros metales a depositar e incluso para acabados decorativos. Este tipo de proceso se utiliza una solución que contiene cianuro de cobre y cianuro de sodio utilizado para recubrir una amplia variedad de metales base incluyendo al hierro, acero, aleaciones de zinc, aleaciones de aluminio, aleaciones de magnesio, aleaciones de níquel y aleaciones de plomo. Una importante propiedad del cobre de los sistemas basados en cianuros es la habilidad para adherirse muy bien a estas aleaciones.

- **Baños de cobre ácidos - sulfato**

Estos baños resultan económicos de preparar, de operar y de tratar los residuos. La química de la solución de este tipo de baños es simple, los componentes básicos son el sulfato de cobre, el ácido sulfúrico e incluso el ácido clorhídrico. Estas sales son altamente conductoras de electricidad y fácilmente dissociables, pudiendo así trabajar con densidades de corriente suficientemente elevadas.

- **Baños de cobre alcalinos**

El baño electrolítico de cobre alcalino es una solución química que se utiliza en la electrodeposición de cobre sobre sustratos metálicos. A diferencia de los baños ácidos, utiliza una solución con pH básico. La solución contiene sales de cobre solubles en forma alcalina, que se descomponen liberando iones de cobre durante el proceso de electrodeposición. Se añaden hidróxido de sodio o potasio como base alcalina, junto con aditivos y estabilizadores para controlar la velocidad y calidad del recubrimiento. También se pueden agregar agentes tensioactivos para mejorar la adherencia del cobre (ESPINOZA, y otros, 2013, pp. 79-91).

### 2.2.7 Efecto de las condiciones de trabajo en la naturaleza de los depósitos

Entre las características de un depósito electroquímico podemos encontrar:

- Los factores electroquímicos como la densidad de corriente, agitación y temperatura.
- Y la composición del baño como la naturaleza del electrolito, el pH, los agentes de adición, la concentración iónica, poder de penetración, distribución de las piezas.

#### 2.2.7.1 *Densidad de corriente*

La densidad de corriente, expresada en (A/dm<sup>2</sup>), determina el espesor del recubrimiento electrolítico. Si es posible utilizar densidades de corriente bastante elevadas siempre que esto sea posible; por otro lado, se debe tener en cuenta que la densidad de corriente afecta el tamaño del grano del metal depositado. En general, aumentar la densidad afina el grano hasta un cierto límite, ya que la corriente demasiado alta conlleva el riesgo de lograr capas quemadas, ósea, uniforme. Es relevante tener en cuenta que la densidad de corriente permitida puede cambiar dependiendo de las condiciones específicas del baño.

#### 2.2.7.2 *Agitación*

La agitación es importante, ya que evita el deterioro de los iones metálicos del cátodo, además limita, en menor o mayor medida, la adhesión de burbujas gaseosas sobre el electrodo negativo, induciendo a la formación de picaduras en las superficies. A pesar de las ventajas de la agitación, las impurezas presentes en el baño se mantienen en suspensión, haciendo que el recubrimiento resulte irregular o inclusive picado; con el fin de evitar estos inconvenientes, se lleva a cabo un proceso de filtración de las soluciones agitadas (FLORES, 2022).

#### 2.2.7.3 *Temperatura*

La temperatura aumenta la conductividad del electrolito y la solubilidad de las sales presentes en su composición, lo que permite conseguir concentraciones más altas y, por lo tanto, corrientes más fuertes. Sin embargo, a medida que la temperatura aumenta, se observa un incremento general en la disociación de las sales, lo que resulta en una disminución en la viscosidad de las soluciones y un aumento en la conductividad de la capa líquida cerca del cátodo. Asimismo, la temperatura facilita la eliminación de los gases en el cátodo reduciendo su absorción que provocaría recubrimientos frágiles que tienden a agrietarse. Es relevante en los metales como el hierro, níquel y cobalto.

#### 2.2.7.4 *Naturaleza del catión y anión*

En la mayor parte de los baños de galvanoplastia, el catión se introduce a través de alguna de sus sales. Igualmente, se agregan sales de conducción, como sulfatos de sodio o cloruros, amonio o potasio que introducen otros cationes. Pero si solo interviniera la concentración iónica del catión, debería lograrse semejantes resultados con sulfatos o cloruros de un mismo metal, como el níquel

zinc o cobre; de hecho, se encuentran diferencias significativas en el uso de soluciones electrolíticas con las sales señaladas, que no pueden ser explicadas únicamente por sus concentraciones iónicas o disociaciones. Por lo tanto, se puede suponer que el anión ejerce algún efecto en el baño, posiblemente por adoptar una forma coloidal en la capa catódica.

#### 2.2.7.5 *Concentración iónica*

La composición más adecuada del electrolito es aquella que dispone pocos iones metálicos a colocar y varias moléculas no disociadas preparadas a disociarse de manera rápida, desprendiendo los iones metálicos que remplazarán a los que escapan del recubrimiento líquido catódico en el transcurso de la deposición. El ánodo, proporciona los iones metálicos necesarios para formar el recubrimiento en el objeto o pieza mediante la electrodeposición, facilita la transferencia de carga y mantiene el equilibrio iónico en el sistema. La concentración real de un ion fijo es función de un sinnúmero de factores, así como el grado de ionización, la concentración molar, formación de complejo químicos, la temperatura y la presencia de sales con un ion común.

#### 2.2.7.6 *pH (Potencial de Hidrógeno)*

El pH tiene un resultado muy distinguido sobre la naturaleza del depósito, al igual el rendimiento de corriente. Algunos metales, como el hierro, zinc y níquel, establecen un pH muy bajo para conseguir depósitos finos y, por ende, brillantes. Cuando se comprende el margen de pH más útil para conseguir en los depósitos un resultado concreto, y la medida de este nos enseña que es demasiado bajo o alto, es necesario ajustar su valor. Si es bajo añadiremos álcali y si es muy alto añadiremos ácido. La selección de los ácidos agregados, como el  $H_2SO_4$  y el  $HCl$ , debe realizarse de manera que no genere alteraciones, ni cambios significativos en el baño, especialmente si contiene sulfatos y cloruros.

#### 2.2.7.7 *Poder de penetración*

Se entiende como la propiedad de un baño, de manera que los depósitos se distribuyen uniformemente sobre toda la superficie del cátodo. Al referirnos de un cátodo de superficie desigual, las zonas próximas de éste se cubren con una capa más gruesa que aquellas más separadas, dado que la resistencia óhmica del electrolito intermedio es menor. Se ha comprobado que el poder de penetración es función del modo como varían la resistencia del electrolito con la densidad de corriente y el potencial catódico (FLORES, 2022).

#### 2.2.7.8 *Superficies catódicas*

En la electrodeposición, cada baño particularmente tiene características determinadas de operación y trabajo. Dentro de las diversas variables a ajustar como la temperatura, el pH, entre otras, se sitúa la corriente que se controlará en base al área de la pieza ( $\text{dm}^2$ ) y de la densidad de corriente recomendada para cada baño ( $\text{A}/\text{dm}^2$ ).

#### 2.2.7.9 *Superficie catódica aparente*

La superficie catódica aparente de electrolisis se da a conocer mediante la división entre la cantidad de corriente catódica que recibe una pieza específica (Amperios) y la densidad de corriente de trabajo ( $\text{A}/\text{dm}^2$ ).

#### 2.2.7.10 *Disposición de las piezas en las cubas*

Con el fin de lograr una distribución uniforme del recubrimiento, es importante tener precaución al ubicar las piezas en el baño, buscando la manera más adecuada para tal efecto. Se posicionan las piezas de forma que queden dentro de la corriente electrogalvánica de los electrodos, bien cubierto por el electrolito y equidistante de los electrodos. El sitio de las piezas huecas debe ser tal que en ningún caso puedan retener gas en el electrolito o burbujas de aire.

#### 2.2.7.11 *Dispositivos y accesorios*

El éxito en el desarrollo y recubrimiento de piezas o metales en la galvanoplastia depende de la correcta selección, manejo, distribución y orden de los diversos elementos que la componen. Estos elementos incluyen el lugar de trabajo, los tanques utilizados para la electrodeposición, el calentamiento de las soluciones, la filtración, las fuentes de corriente continua y el secado. Todos estos componentes son necesarios para establecer y operar de manera efectiva los diversos recubrimientos metálicos.

- **Descripción del lugar de trabajo**

Es esencial diseñar adecuadamente y de manera funcional el lugar de trabajo, considerando las tareas que se llevarán a cabo en ese entorno. Es importante que el espacio de trabajo destinado para la electrodeposición, sea amplio como para poder desplazarse plácidamente. Es recomendable que el lugar del rectificador este cerca de los baños electrolíticos, para evitar que

las líneas eléctricas sean demasiado largas, lo cual puede provocar caídas de tensión que aumentaría los costos del proceso.

- **Tanques para la electrodeposición**

En el proceso de electrodeposición, es necesario contar con tanques o cubas electrolíticas que cumplan con ciertas características y requisitos. Deben ser capaces de:

- Resistir a diversas concentraciones
- Soportar a la temperatura de operación.
- Resistir a los daños físicos que logran ser causados al tanque durante el procesamiento de aleaciones, etc.
- Facilitar un desempeño permanente y accesible mantenimiento.

Los tipos de tanque más frecuentes son:

- Tanques de acero inoxidable.
- Tanques de concreto recubierto.
- Tanques de acero al carbón recubierto (forrado).
- Tanques de plástico auto soportado.

- **Revestimientos**

Existen múltiples opciones de materiales disponibles para revestir y proteger los tanques o cubas electrolíticas de concreto y acero. Estos materiales se dividen en:

- Asfálticos aplicados a temperatura ambiente o en caliente.
- Hojas de elastómeros, caucho o plástico.
- Sistemas de ambiente reforzado y no reforzado con curado de resinas sintéticas.

- **Calentamiento de las soluciones**

El control de la temperatura en las soluciones utilizadas en los procesos de recubrimientos metálicos es fundamental en la industria. En consecuencia, el equipo que calienta la solución electrolítica es una pieza crítica del equipo. La temperatura de la solución afecta varios factores del proceso de deposición, como la resistencia a la corrosión del equipo y la habilidad del depósito de adherirse a la superficie, la activación y descomposición de químicos delicados y la velocidad de depósito (ÁLVAREZ, y otros, 2012).

- **Filtración**

Es la eliminación de sólidos en suspensión, involucrando la presencia de partículas diminutas y coloides en los baños de electrodeposición. Estas partículas sólidas pueden haber sido

transportadas, caído o formadas dentro del baño electrolítico, o bien haber sido añadidas intencionalmente. La filtración se logra pasando la solución a través de un medio filtrante que retiene partículas sólidas en suspensión, permitiendo el paso únicamente de la solución limpia.

- **Fuentes de corriente continua**

Se denomina generalmente rectificador el cual es encargado de suministrar la energía eléctrica necesaria para efectuar los diferentes procesos electroquímicos. Existen diversos tipos los cuales deben ser evaluados con el fin de determinar cuál es el adecuado para el proceso a realizar.

- **Secado**

Se refiere al proceso de eliminar la humedad o el exceso de líquido de la superficie de las piezas recubiertas después de completar el proceso de la electrolisis. Tiene como objetivo eliminar esta humedad residual para evitar problemas como la formación de manchas, corrosión o deterioro del recubrimiento para garantizar la calidad y durabilidad del recubrimiento electrodepositado. (BARRAGÁN , y otros, 2021).

### ***2.2.8 Procesos de preparación de superficies para electrodeposición***

Es importante considerar que antes de aplicar la capa metálica sobre el metal base, es necesario preparar la superficie eliminando impurezas como grasas y óxidos. Esto se logra mediante una serie de procesos de preparación que incluyen:

- Recepción de la materia prima
- Limpieza química de las piezas o Desengrase
- Enjuague de desengrase
- Desoxidación de las piezas o Decapado
- Enjuague de decapado
- Preparación mecánica del material a realizar la electrolisis
- Limpieza física del material a realizar la electrolisis
- Electrólisis (cobreado, cromado, niquelado, etc)
- Secado (MARTÍNEZ, et al., 2014)

## **CAPÍTULO III**

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo de Estudio**

##### ***3.1.1 Estudio Exploratorio***

Gracias a las revisiones bibliográficas utilizada en las bibliotecas virtuales brindadas por la ESPOCH, se hizo una recopilación de la información necesaria para el desarrollo de procesos de galvanoplastia, junto con la ayuda de varias tesis para sustentar este proyecto, esta investigación incluye fundamentos teóricos como la corrosión, electroquímica, las leyes de Faraday, etc. Con el objetivo de elegir las mejores condiciones y sustancias para optimizar el proceso y obtener la mejor calidad del producto, siendo este, el recubrimiento de cobre esperado para mejorar la conductividad eléctrica y protección a las varillas de acero dando como resultado las barras de conexión a tierra, Sumándose a esto, la correcta elección de los materiales a utilizar.

##### ***3.1.2 Estudio Experimental***

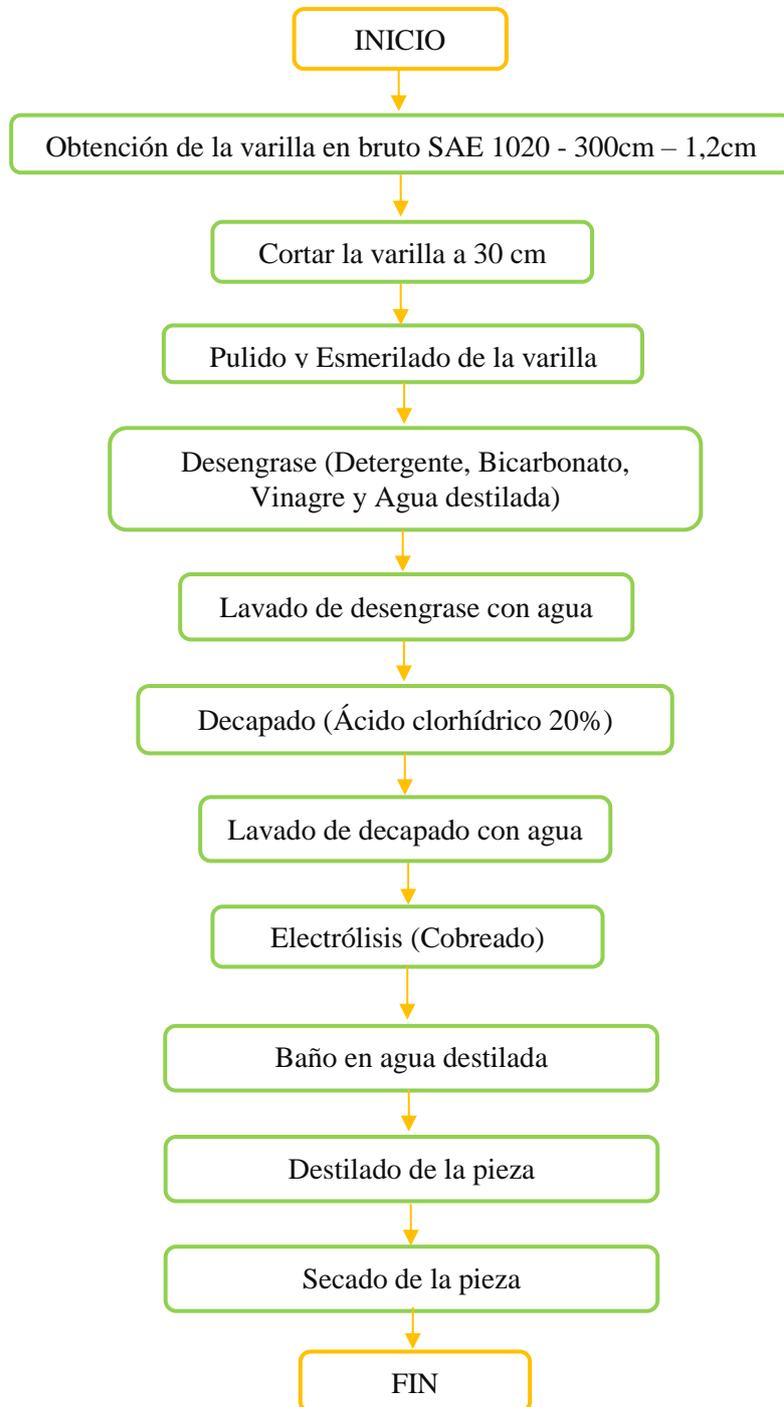
Para obtener el recubrimiento de cobre se debe tener en cuenta los factores que determinaran la calidad del mismo, como la calidad del ánodo de sacrificio, el cual influirá en gran medida ya que protegerá al metal deseado, la concentración del electrolito, el peso inicial y final de la varilla de acero que cumplirá con la función de cátodo. Asimismo, la intensidad mínima necesaria y la cantidad de voltaje para que el proceso suceda sin inconvenientes, cada etapa del proceso previo al recubrimiento se basa en limpiezas que se le da al metal a recubrir para que la adición de los iones del ánodo de sacrificio se adhiera correctamente sobre la superficie del metal a recubrir.

#### **3.2 Experimentación**

Para la parte experimental del proyecto se armó un prototipo de un equipo de cobreado, para ello se acudió a las instalaciones de la empresa, el cual está a cargo del Ing. Fernando Caiza Guambo, desde el 12 de mayo hasta el 28 de julio del 2023.

### 3.2.1 Diagrama del proceso

Para estructurar de forma correcta el diseño se debe entender cuál es el proceso para que quede claro el porqué de la utilización de los materiales en el proceso.



**Ilustración 3-1:** Diagrama de flujo del proceso de cobreado

Fuente: (ROJAS, 2018)

**Donde:**

- Se obtuvo la varilla en bruto SAE 1020 - 300cm – 1,2cm y se procedió a cortar a 30 cm.



**Ilustración 3-2:** Obtención de la varilla de acero

**Realizado por:** Romero, D., 2023

- Pulido y Esmerilado de la varilla.

En el caso de la varilla de acero, primero se realizó el esmerilado que implica el uso de abrasivos más gruesos para eliminar cantidades mayores de material y dar forma a la superficie. Por ende, se realizó con la herramienta rueda de esmeril. Es un proceso más agresivo que el pulido y se utiliza para preparar la superficie antes del pulido final. Por otro lado, el pulido se realizó utilizando abrasivos como lijas. El objetivo es obtener una superficie más suave y brillante y el resultado es una superficie más uniforme y libre de marcas visibles. La calidad de la preparación de la superficie influirá en la adherencia y la calidad del recubrimiento que se aplique posteriormente.



**Ilustración 3-3:** Pulido de la varilla de acero

**Realizado por:** Romero, D., 2023

- Desengrase (Detergente, Bicarbonato, Vinagre y Agua destilada)

Esto con el fin de quitar toda la grasa y aceite que pueda encontrarse en la superficie de la varilla de acero.



**Ilustración 3-4:** Desengrase de la varilla de acero

**Realizado por:** Romero, D., 2023

- Lavado de desengrase con agua

Después de desengrasar, se enjuagó la varilla de acero con agua para eliminar restantes de solvente. De esta forma evitaremos la aparición de manchas en la superficie metálica y conseguiremos un recubrimiento más uniforme.



**Ilustración 3-5:** Lavado con agua

**Realizado por:** Romero, D., 2023

- Decapado (Ácido clorhídrico 20%)

Sumergimos a la varilla de acero en una solución de ácido clorhídrico con el objetivo de eliminar las capas de óxido que suelen formarse en la superficie de las piezas a cobrear.



**Ilustración 3-6:** Decapado con el ácido clorhídrico

**Realizado por:** Romero, D., 2023

- Lavado de decapado con agua

Después del decapado con el ácido, las piezas deben enjuagarse para eliminar los residuos de sustancias usadas y el óxido. Para ello se utiliza agua, dejando a la varilla limpia para el siguiente paso del proceso.



**Ilustración 3-7:** Lavado con agua

**Realizado por:** Romero, D., 2023

- Electrólisis (Cobreado)

Como se realizó el cobreado con 3 métodos se detalló en forma general las preparaciones:

1) Preparación del electrolito en este caso se trabajó con 600 ml de agua destilada y 400 ml de agua acidulada (al 2% de  $H_2SO_4$ ).

Preparación del electrolito con 650 ml de agua destilada y 650 ml de agua acidulada (al 20% de HCl).

Preparación del electrolito con 1500 ml de agua destilada y 80 g de sulfato de cobre.



**Ilustración 3-8:** Preparación del electrolito

**Realizado por:** Romero, D., 2023

2) Colocación ánodo de alambre cobre #8 en la cuba, cabe recalcar que en el cobreado con el sulfato de cobre no se pone ánodo de alambre de cobre sino una barra de grafito.

3) Colocación cátodo (varilla de acero).

4) Se colocó el electrolito ya preparado en la cuba electrolítica.

5) Conexión eléctrica del ánodo (+, rojo) y cátodo (-, negro)

6) Se encendió el rectificador de corriente.



**Ilustración 3-9:** Armado e instalación del equipo de cobreado

**Realizado por:** Romero, D., 2023

- 7) Se dejó un tiempo específico, es importante agitar para tener un recubrimiento uniforme y obtener buenos resultados



**Ilustración 3-10:** Agitación y tiempo esperado

Realizado por: Romero, D., 2023

- 8) Se sacó la varilla ya cobreada de la cuba electrolítica.
- Baño de la barra cobreada en agua destilada en la cuba apropiada.



**Ilustración 3-11:** Baño de la barra en agua destilada

Realizado por: Romero, D., 2023

- Destilado de la barra cobreada.
- Finalmente, secado de la barra al ambiente.



**Ilustración 3-12:** Secado de la varilla de acero

Realizado por: Romero, D., 2023

### 3.2.2 *Materiales utilizados*

#### ➤ **Equipo de protección**

Como en el proceso del cobreado requiere el uso de sustancias ácidas, es necesario llevar el equipo de protección necesaria, tales como mascarilla, guantes nitrilo negros, mandil con tela antifluido y gafas de protección.



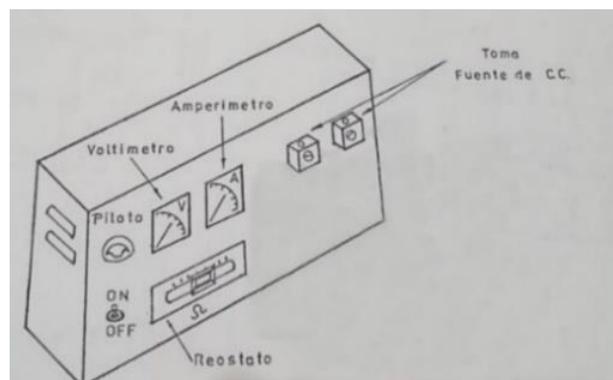
**Ilustración 3-13:** Equipo de protección requerido

Realizado por: Romero, D., 2023

#### ➤ **Fuente de corriente continua**

Se denomina comúnmente rectificador lo cual es la encargada de proveer la energía eléctrica necesaria para realizar el proceso del cobreado. Sus características principales son:

- Voltaje variable de 0 a 15 Voltios y de 0 a 7,5 Voltios.
- Intensidad de corriente eléctrica variable de 0 a 15 Amperios.



**Ilustración 3-14:** Rectificador

Fuente: (CASTILLO, 1990)

Sus componentes principales son: Voltímetro, amperímetro, piloto de encendido y apagado, interruptor de control, reóstato y tomas de la fuente de corriente continua.

➤ **Cubas electrolíticas**

Son consideradas para preparar, contener y usar las soluciones de los procesos de la electrodeposición. Estas cubas van hacer construidas de tubo PVC de 11 centímetros de diámetro.



**Ilustración 3-15:** Cuba electrolítica PVC

Realizado por: Romero, D., 2023

➤ **Ánodo**

El ánodo será de alambre de cobre, este es el metal que será sacrificado, se dividirá sus iones que se trasladaran por medio del electrolito para juntarse al cátodo, o el metal que busca protección o recubrimiento (cabe recalcar que se utilizará solo en los procesos del cobreado con el agua acidulada del 2% de  $H_2SO_4$  y del 20% de  $HCl$ ). Durante la transición, los átomos del ánodo pierden electrones que se transfieren al electrolito en forma de iones, debido a la pérdida de electrones se provoca un exceso de carga positiva que da como resultado la formación de un ion de carga positiva para el metal de sacrificio.



**Ilustración 3-16:** Cable de luz de cobre

Realizado por: Romero, D., 2023

Para el proceso de cobreado con el sulfato de cobre se utilizó una pila de grafito en lo cual cumple la función de liberar electrones al circuito, permitiendo que los iones cobre se disuelvan en la solución y se depositen posteriormente en el cátodo (la varilla de acero).



**Ilustración 3-17:** Barra de grafito

**Realizado por:** Romero, D., 2023

#### ➤ **Cátodo**

El cátodo será la varilla SAE 1020 de 30 cm y será el metal que no se disuelve, es decir, es el lugar en donde los electrones que vienen del ánodo se depositaran y este es necesario para que un proceso de oxidación ocurra. Los electrones que se liberan desde el ánodo se trasladan hacia el cátodo, donde reaccionaran con un agente oxidante presente en el agua, produciéndose así una reacción de tipo reducción, es decir, de carga negativa.



**Ilustración 3-18:** Varilla SAE 1020 de 30 cm

**Fuente:** (CGA, 2020)

➤ **Pipeta volumétrica**

Para las soluciones en este caso los ácidos que van a intervenir como electrolitos se puede manejar otras pipetas para los diferentes tipos de ácidos a manipular y que no se contaminen al entrar en contacto con otro tipo de sustancia.



**Ilustración 3-19:** Pipeta

Fuente: (BARAHONA, 2019)

➤ **Recipiente volumétrico con escala (500 ml)**

Es un recipiente donde se lleva a cabo las cantidades exactas tanto para el agua destilada y los reactivos que se emplean durante el proceso del cobreado.



**Ilustración 3-20:** Recipiente volumétrico

Fuente: (NOGUERA, 2020)

➤ **Cables eléctricos con pinzas (rojo positivo-para ánodo y negro negativo-para cátodo)**

Se trata de cables con terminales en forma de pinzas para facilitar el agarre de estas con otros objetos, esto permite la conexión y unión de las conexiones entre el ánodo, cátodo con el rectificador de corriente.



**Ilustración 3-21:** Cables de dientes de caimán

Realizado por: Romero, D., 2023

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este apartado es importante conocer algunos cálculos que se desarrolló a lo largo de la parte experimental tanto del cobreado con el agua acidulada del 2% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y del 20% de HCl y sulfato de cobre que se detalla a continuación.

#### 4.1 Cobreado con agua acidulada (20% de HCl)

##### 4.1.1 Masa que se ha depositado (g)

Para determinar la masa que se ha depositado en el proceso de cobreado, es necesario saber:

$$m = \frac{P \times I \times t}{95600 n}$$

**Donde:**

***m*** = masa en gramos que se han depositado = ?

***P*** = peso atómico del elemento = 63,546 g/mol

***I*** = Intensidad de corriente (amperios) = 2,48 A

***t*** = tiempo (segundos) = 30 minutos

***n*** = numero de electrones necesarios para que se deposite = 2  $\bar{e}$

**6500:** es el factor de equivalencia entre el Faraday y el Culombio. 1 F= 96500 C

$$m = \frac{63,546 \frac{g}{mol} \times 2,48 A \times 1800 s}{95600 \times 2}$$
$$m = 1,48 g$$

Se sacó el valor del peso teórico calculado mediante la formula respectiva.

##### 4.1.2 Rendimiento del cátodo

Según (FLORES, 2022, p. 39) para calcularlo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{Pr}{P} \times 100$$

**Donde:**

$\eta$  = Rendimiento del baño electrolítico

$Pr$  = Peso real obtenido

$P$  = Peso teórico

Varilla de acero antes del cobreado (peso inicial) = 250 g

Varilla de acero después del cobreado (peso final) = 250,04 g

**Peso real del recubrimiento** = Peso final del objeto - Peso inicial del objeto

**Peso real del recubrimiento** = 250,04 g – 250 g

**Peso real del recubrimiento** = 0,04 g

$$\eta = \frac{0,04 \text{ g}}{1,48 \text{ g}} \times 100$$

$$\eta = 2,70 \%$$

#### 4.1.3 *Peso del recubrimiento obtenido mediante el rendimiento*

El peso del recubrimiento obtenido puede calcularse utilizando la fórmula del rendimiento. Lo cual se expresa de la siguiente manera:

$$G = Eq \times t \times I \times \eta$$

**Donde:**

$G$  = Peso en gramos del recubrimiento

$t$  = tiempo (h)

$I$  = Intensidad (A)

$Eq$  = Equivalente químico

$\eta$  = Rendimiento

$$G = Eq \times t \times I \times \eta$$

En el Anexo A se puede sacar el valor del Equivalente químico por 100 amperios de corriente, lo cual reemplazando los valores tenemos:

$$G = \left(2,37160 \frac{\text{g}}{\text{A} \times \text{h}}\right) \times (0,5 \text{ h}) \times (2,48 \text{ A}) \times 0,027$$

$$G = 0,0794 \text{ g}$$

El depósito del metal aumentara conforme aumente la intensidad de corriente, teniendo en cuenta que se usó una intensidad de corriente de 2,48 amperios.

#### 4.1.4 Tiempo del baño electroquímico

$$t = \frac{G}{Eq \times I \times \eta}$$

Donde:

$G$  = Peso en gramos del recubrimiento

$t$  = tiempo (h)

$I$  = Intensidad de corriente según la superficie a recubrir (A)

$Eq$  = Equivalente químico

$\eta$  = Rendimiento

Del rendimiento obtenido, calculamos el tiempo de inmersión, es importante considerar lo siguiente:

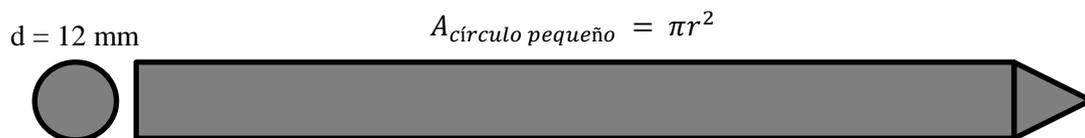
$$I = A \times D$$

Donde:

$D$  = Cantidad de corriente que atraviesa por unidad de área

$A$  = Área

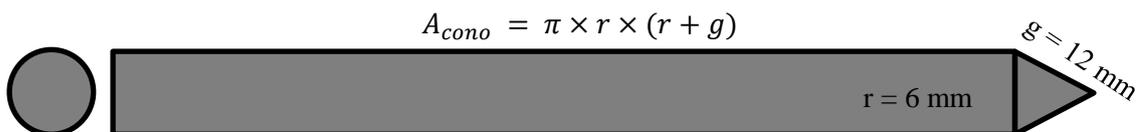
-Empezamos calculando el área de la varilla de acero donde primero sacamos el área del círculo.



$$A_{\text{círculo pequeño}} = \pi(6 \text{ mm})^2$$

$$A_{\text{círculo pequeño}} = 133,09 \text{ mm}^2 \text{ Esta es el área para el círculo de la varilla de acero}$$

-Ahora se saca el área del cono mostrado en la varilla de acero.

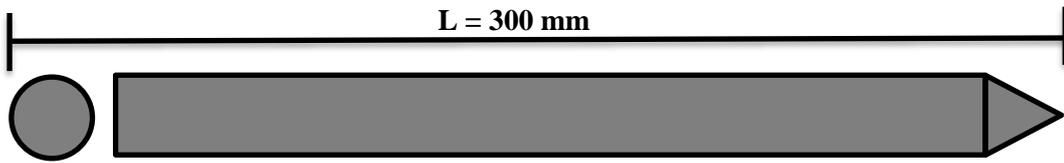


$$A_{\text{cono}} = \pi \times 6 \text{ mm} \times (6 \text{ mm} + 12 \text{ mm})$$

$$A_{\text{cono}} = 339,292 \text{ mm}^2$$

Finalmente se saca el área del rectángulo sobrante en la varilla de acero.

$$A_{\text{rectángulo}} = L \times \text{ancho}$$



$$P_{\text{del círculo}} = 2\pi r$$

$$P = 2\pi(6\text{mm})$$

$P = 37,699 \text{ mm}$  En este caso el valor del perímetro del círculo (contorno pertenece al ancho del rectángulo)

$$A_{\text{rectángulo}} = 300 \text{ mm} \times 37,699 \text{ mm}$$

$$A_{\text{rectángulo}} = 11309,73 \text{ mm}^2$$

Para obtener el área total de la varilla se sumó las áreas del círculo, cono y la del rectángulo:

$$A_{\text{Total}} = A_{\text{círculo pequeño}} + A_{\text{cono}} + A_{\text{rectángulo}}$$

$$A_{\text{Total}} = 113,09 \text{ mm}^2 + 339,292 \text{ mm}^2 + 11309,73 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{Total}} = 11762,112 \text{ mm}^2 \text{ Área que se va a cobrear}$$

Transformando a  $\text{dm}^2$ :

$$A_{\text{Total}} = 11762,112 \text{ mm}^2 \times \frac{0,0001 \text{ dm}^2}{1 \text{ mm}^2} = 1,176 \text{ dm}^2$$

Calcular la densidad de corriente:

$$\rho_{\text{corriente}} = \frac{A}{\text{dm}^2}$$

$$\rho_{\text{corriente}} = \frac{2,48 \text{ A}}{1,176 \text{ dm}^2}$$

$$\rho_{\text{corriente}} = 2,11 \frac{\text{A}}{\text{dm}^2}$$

Reemplazando:

$$I = A \times D$$

$$I = 1,176 \text{ dm}^2 \times 2,11 \frac{\text{A}}{\text{dm}^2} = 2,481 \text{ A}$$

Reemplazo la intensidad obtenida y calculamos el tiempo de baño:

$$t = \frac{G}{Eq \times I \times \eta}$$

$$t = \frac{0,0794 \text{ g}}{2,37160 \frac{\text{g}}{\text{A} \times \text{h}} \times 2,481 \text{ A} \times 0,027}$$

$$t = 0,499 \text{ h} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 29,98 \approx 30 \text{ min}$$

Para obtener el recubrimiento necesario sobre la varilla de acero a esa intensidad de corriente es necesario dejarlo funcionar durante 30 minutos puede variar ya sea el voltaje o la corriente e incluso la solución.

#### 4.1.5 *Espesor del recubrimiento*

Nos referimos a la medida de la capa de material que se deposita sobre la superficie de un objeto durante un proceso de recubrimiento, para calcular se usa la siguiente fórmula:

$$S = \frac{G}{\alpha \times \gamma \times 10}$$

Donde:

**S** = Espesor del recubrimiento (um)

**G** = Peso del recubrimiento (g)

**a** = Área de la superficie a recubrir (cm<sup>2</sup>)

**γ** = Peso específico del Cobre (g/cm<sup>3</sup>)

**10** = Factor de la Formula

$$S = \frac{0,0794 \text{ g}}{117,62 \text{ cm}^2 \times 8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 10}$$

$$S = 7,53 \times 10^{-6} \text{ cm} \times \frac{10000 \text{ um}}{1 \text{ cm}} = 0,075 \text{ um}$$

## 4.2 Cobreado con agua acidulada (2% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

### 4.2.1 Masa que se ha depositado (g)

Para determinar la masa que se ha depositado en el proceso de cobreado, es necesario saber:

$$m = \frac{P \times I \times t}{95600 n}$$

Donde:

**m** = masa en gramos que se han depositado = ?

**P** = peso atómico del elemento = 63,546 g/mol

**I** = Intensidad de corriente (amperios) = 1,87 A

**t** = tiempo (segundos) = 5 minutos

**n** = numero de electrones necesarios para que se deposite = 2 ē

**6500**: es el factor de equivalencia entre el Faraday y el Culombio. 1 F= 96500 C

$$m = \frac{63,546 \frac{g}{mol} \times 1,87 A \times 300 s}{95600 \times 2}$$

$$m = 0,186 g$$

Se sacó el valor del peso teórico calculado mediante la formula respectiva.

### 4.2.2 Rendimiento del cátodo

Según (FLORES, 2022, p. 39) para calcularlo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{Pr}{P} \times 100$$

Donde:

**η** = Rendimiento del baño electrolítico

**Pr** = Peso real obtenido

**P** = Peso teórico

Varilla de acero antes del cobreado (peso inicial) = 250 g

Varilla de acero después del cobreado (peso final) = 250,04 g

**Peso real del recubrimiento** = Peso final del objeto - Peso inicial del objeto

**Peso real del recubrimiento** = 250,04 g – 250 g

**Peso real del recubrimiento** = 0,04 g

$$\eta = \frac{0,04 \text{ g}}{0,186 \text{ g}} \times 100$$

$$\eta = 21,45 \%$$

#### 4.2.3 *Peso del recubrimiento obtenido mediante el rendimiento*

El peso del recubrimiento obtenido puede calcularse utilizando la fórmula del rendimiento. Lo cual se expresa de la siguiente manera:

$$G = Eq \times t \times I \times \eta$$

Donde:

**G** = Peso en gramos del recubrimiento

**t** = tiempo (h)

**I** = Intensidad (A)

**Eq** = Equivalente químico

**η** = Rendimiento

$$G = Eq \times t \times I \times \eta$$

En el Anexo A se puede sacar el valor del Equivalente químico por 100 amperios de corriente, lo cual reemplazando los valores tenemos:

$$G = \left(2,37160 \frac{\text{g}}{\text{A} \times \text{h}}\right) \times (0,0833 \text{ h}) \times (1,87 \text{ A}) \times 0,2145$$

$$G = 0,0792 \text{ g}$$

El depósito del metal aumentara conforme aumente la intensidad de corriente, teniendo en cuenta que se usó una intensidad de corriente de 1,87 amperios.

#### 4.2.4 Tiempo del baño electroquímico

$$t = \frac{G}{Eq \times I \times \eta}$$

Donde:

**G** = Peso en gramos del recubrimiento

**t** = tiempo (h)

**I** = Intensidad de corriente según la superficie a recubrir (A)

**Eq** = Equivalente químico

**η** = Rendimiento

Del rendimiento obtenido, calculamos el tiempo de inmersión, es importante considerar lo siguiente:

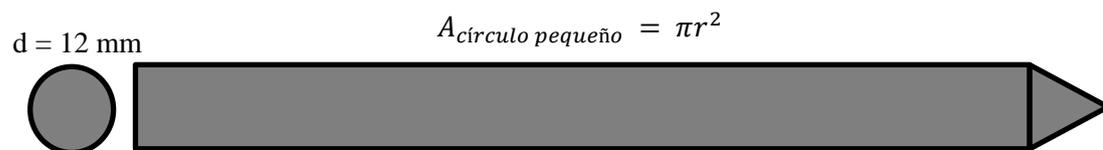
$$I = A \times D$$

Donde:

**D** = Cantidad de corriente que atraviesa por unidad de área

**A** = Área

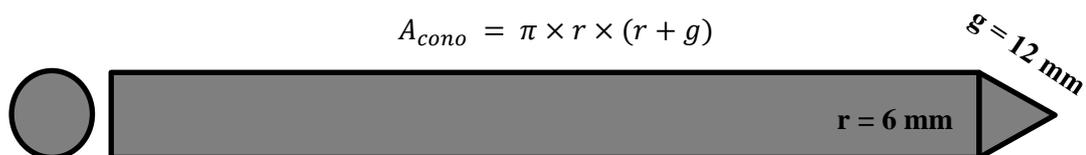
-Empezamos calculando el área de la varilla de acero donde primero sacamos el área del círculo.



$$A_{\text{círculo pequeño}} = \pi(6 \text{ mm})^2$$

$$A_{\text{círculo pequeño}} = 133,09 \text{ mm}^2 \text{ Esta es el área para el círculo de la varilla de acero}$$

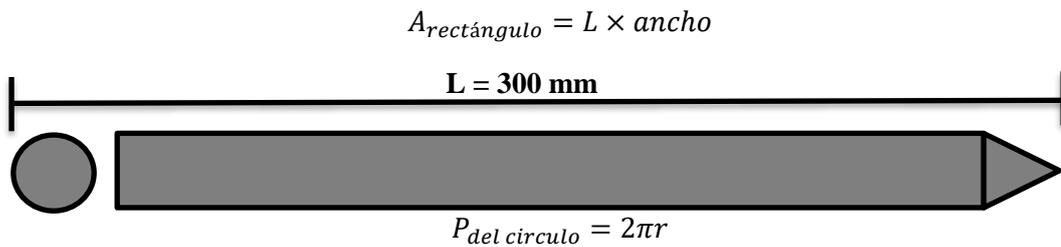
-Ahora se saca el área del cono mostrado en la varilla de acero.



$$A_{\text{cono}} = \pi \times 6 \text{ mm} \times (6 \text{ mm} + 12 \text{ mm})$$

$$A_{\text{cono}} = 339,292 \text{ mm}^2$$

Finalmente se saca el área del rectángulo sobrante en la varilla de acero.



$$P = 2\pi(6\text{mm})$$

$P = 37,699 \text{ mm}$  En este caso el valor del perímetro del círculo (contorno pertenece al ancho del rectángulo)

$$A_{\text{rectángulo}} = 300 \text{ mm} \times 37,699 \text{ mm}$$

$$A_{\text{rectángulo}} = 11309,73 \text{ mm}^2$$

Para obtener el área total de la varilla se sumó las áreas del círculo, cono y la del rectángulo:

$$A_{\text{Total}} = A_{\text{círculo pequeño}} + A_{\text{cono}} + A_{\text{rectángulo}}$$

$$A_{\text{Total}} = 113,09 \text{ mm}^2 + 339,292 \text{ mm}^2 + 11309,73 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{Total}} = 11762,112 \text{ mm}^2 \text{ Área que se va a cobrear}$$

Transformando a  $\text{dm}^2$ :

$$A_{\text{Total}} = 11762,112 \text{ mm}^2 \times \frac{0,0001 \text{ dm}^2}{1 \text{ mm}^2} = 1,176 \text{ dm}^2$$

Calcular la densidad de corriente:

$$\rho_{\text{corriente}} = \frac{A}{\text{dm}^2}$$

$$\rho_{\text{corriente}} = \frac{1,87 \text{ A}}{1,176 \text{ dm}^2}$$

$$\rho_{\text{corriente}} = 1,59 \frac{\text{A}}{\text{dm}^2}$$

Reemplazando:

$$I = A \times D$$
$$I = 1,176 \text{ dm}^2 \times 1,59 \frac{\text{A}}{\text{dm}^2} = 1,869 \text{ A}$$

Reemplazo la intensidad obtenida y calculamos el tiempo de baño:

$$t = \frac{G}{Eq \times I \times \eta}$$
$$t = \frac{0,0792 \text{ g}}{2,37160 \frac{\text{g}}{\text{A} \times \text{h}} \times 1,869 \text{ A} \times 0,2145}$$
$$t = 0,0833 \text{ h} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 4,99 \approx 5 \text{ min}$$

Para obtener el recubrimiento necesario sobre la varilla de acero a esa intensidad de corriente es necesario dejarlo funcionar durante 5 minutos puede variar ya sea el voltaje o la corriente e incluso la solución.

#### 4.2.5 Espesor del recubrimiento

Nos referimos a la medida de la capa de material que se deposita sobre la superficie de un objeto durante un proceso de recubrimiento, para calcular se usa la siguiente fórmula:

$$S = \frac{G}{\alpha \times \gamma \times 10}$$

Donde:

**S** = Espesor del recubrimiento (um)

**G** = Peso del recubrimiento (g)

**a** = Área de la superficie a recubrir (cm<sup>2</sup>)

**γ** = Peso específico del Cobre (g/cm<sup>3</sup>)

**10** = Factor de la Formula

$$S = \frac{0,0792 \text{ g}}{117,62 \text{ cm}^2 \times 8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 10}$$

$$S = 7,748 \times 10^{-6} \text{ cm} \times \frac{10000 \text{ um}}{1 \text{ cm}} = 0,077 \text{ um}$$

### 4.3 Cobreado con sulfato de cobre

#### 4.3.1 Masa que se ha depositado (g)

Para determinar la masa que se ha depositado en el proceso de cobreado, es necesario saber:

$$m = \frac{P \times I \times t}{95600 n}$$

Donde:

**m** = masa en gramos que se han depositado = ?

**P** = peso atómico del elemento = 63,546 g/mol

**I** = Intensidad de corriente (amperios) = 0,45 A

**t** = tiempo (segundos) = 5 minuto

**n** = numero de electrones necesarios para que se deposite = 2 e

**6500**: es el factor de equivalencia entre el Faraday y el Culombio. 1 F= 96500 C

$$m = \frac{63,546 \frac{g}{mol} \times 0,45 A \times 300 s}{95600 \times 2}$$

$$m = 0,0448 g$$

Se sacó el valor del peso teórico calculado mediante la formula respectiva.

#### 4.3.2 Rendimiento del cátodo

Según (FLORES, 2022, p. 39) para calcularlo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{Pr}{P} \times 100$$

Donde:

**$\eta$**  = Rendimiento del baño electrolítico

**Pr** = Peso real obtenido

**P** = Peso teórico

Varilla de acero antes del cobreado (peso inicial) = 250 g

Varilla de acero después del cobreado (peso final) = 250,04 g

**Peso real del recubrimiento** = Peso final del objeto - Peso inicial del objeto

**Peso real del recubrimiento** = 250,04 g – 250 g

**Peso real del recubrimiento** = 0,04 g

$$\eta = \frac{0,04 \text{ g}}{0,0448 \text{ g}} \times 100$$

$$\eta = 89,28 \%$$

#### 4.3.3 *Peso del recubrimiento obtenido mediante el rendimiento*

El peso del recubrimiento obtenido puede calcularse utilizando la fórmula del rendimiento. Lo cual se expresa de la siguiente manera:

$$G = Eq \times t \times I \times \eta$$

Donde:

**G** = Peso en gramos del recubrimiento

**t** = tiempo (h)

**I** = Intensidad (A)

**Eq** = Equivalente químico

**η** = Rendimiento

$$G = Eq \times t \times I \times \eta$$

En el Anexo A se puede sacar el valor del Equivalente químico por 100 amperios de corriente, lo cual reemplazando los valores tenemos:

$$G = \left(2,37160 \frac{\text{g}}{\text{A} \times \text{h}}\right) \times (0,083 \text{ h}) \times (0,45 \text{ A}) \times 0,8928$$

$$G = 0,0790 \text{ g}$$

El depósito del metal aumentara conforme aumente la intensidad de corriente, teniendo en cuenta que se usó una intensidad de corriente de 0,45 amperios.

#### 4.3.4 Tiempo del baño electroquímico

$$t = \frac{G}{Eq \times I \times \eta}$$

Donde:

$G$  = Peso en gramos del recubrimiento

$t$  = tiempo (h)

$I$  = Intensidad de corriente según la superficie a recubrir (A)

$Eq$  = Equivalente químico

$\eta$  = Rendimiento

Del rendimiento obtenido, calculamos el tiempo de inmersión, es importante considerar lo siguiente:

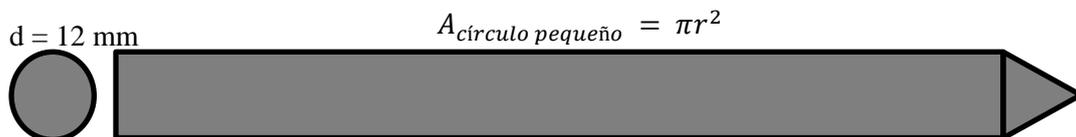
$$I = A \times D$$

Donde:

$D$  = Cantidad de corriente que atraviesa por unidad de área

$A$  = Área

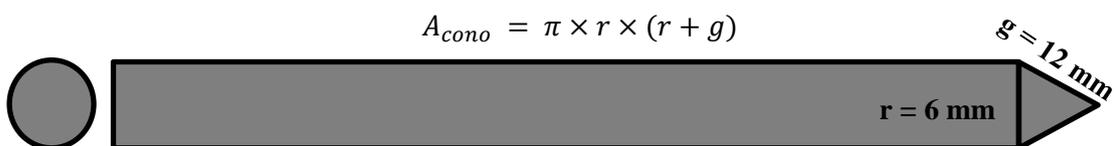
-Empezamos calculando el área de la varilla de acero donde primero sacamos el área del círculo.



$$A_{\text{círculo pequeño}} = \pi(6 \text{ mm})^2$$

$$A_{\text{círculo pequeño}} = 133,09 \text{ mm}^2 \text{ Esta es el área para el círculo de la varilla de acero}$$

-Ahora se saca el área del cono mostrado en la varilla de acero.

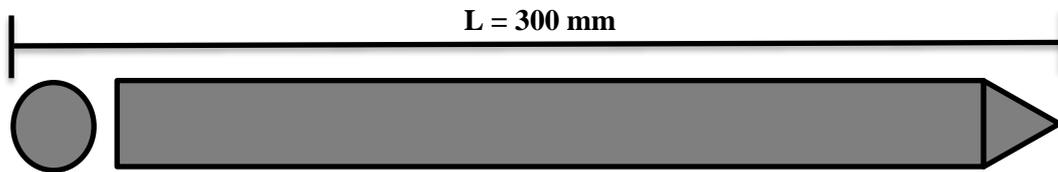


$$A_{\text{cono}} = \pi \times 6 \text{ mm} \times (6 \text{ mm} + 12 \text{ mm})$$

$$A_{\text{cono}} = 339,292 \text{ mm}^2$$

Finalmente se saca el área del rectángulo sobrante en la varilla de acero.

$$A_{\text{rectángulo}} = L \times \text{ancho}$$



$$P_{\text{del círculo}} = 2\pi r$$

$$P = 2\pi(6\text{mm})$$

$P = 37,699 \text{ mm}$  En este caso el valor del perímetro del círculo (contorno pertenece al ancho del rectángulo)

$$A_{\text{rectángulo}} = 300 \text{ mm} \times 37,699 \text{ mm}$$

$$A_{\text{rectángulo}} = 11309,73 \text{ mm}^2$$

Para obtener el área total de la varilla se sumó las áreas del círculo, cono y la del rectángulo:

$$A_{\text{Total}} = A_{\text{círculo pequeño}} + A_{\text{cono}} + A_{\text{rectángulo}}$$

$$A_{\text{Total}} = 113,09 \text{ mm}^2 + 339,292 \text{ mm}^2 + 11309,73 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{Total}} = 11762,112 \text{ mm}^2 \text{ Área que se va a cobrear}$$

Transformando a  $\text{dm}^2$ :

$$A_{\text{Total}} = 11762,112 \text{ mm}^2 \times \frac{0,0001 \text{ dm}^2}{1 \text{ mm}^2} = 1,176 \text{ dm}^2$$

Calcular la densidad de corriente:

$$\rho_{\text{corriente}} = \frac{A}{\text{dm}^2}$$

$$\rho_{\text{corriente}} = \frac{0,45 \text{ A}}{1,176 \text{ dm}^2}$$

$$\rho_{\text{corriente}} = 0,382 \frac{\text{A}}{\text{dm}^2}$$

Reemplazando:

$$I = A \times D$$

$$I = 1,176 \text{ dm}^2 \times 0,382 \frac{\text{A}}{\text{dm}^2} = 0,449 \text{ A}$$

Reemplazo la intensidad obtenida y calculamos el tiempo de baño:

$$t = \frac{G}{Eq \times I \times \eta}$$

$$t = \frac{0,0790 \text{ g}}{2,37160 \frac{\text{g}}{\text{A} \times \text{h}} \times 0,448 \text{ A} \times 0,8928}$$

$$t = 0,0832 \text{ h} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 4,99 \approx 5 \text{ min}$$

Para obtener el recubrimiento necesario sobre la varilla de acero a esa intensidad de corriente es necesario dejarlo funcionar durante 5 minutos puede variar ya sea el voltaje o la corriente e incluso la solución.

#### 4.3.5 Espesor del recubrimiento

Nos referimos a la medida de la capa de material que se deposita sobre la superficie de un objeto durante un proceso de recubrimiento, para calcular se usa la siguiente fórmula:

$$S = \frac{G}{\alpha \times \gamma \times 10}$$

Donde:

**S** = Espesor del recubrimiento (um)

**G** = Peso del recubrimiento (g)

**a** = Área de la superficie a recubrir (cm<sup>2</sup>)

**γ** = Peso específico del Cobre (g/cm<sup>3</sup>)

**10** = Factor de la Formula

$$S = \frac{0,0790 \text{ g}}{117,62 \text{ cm}^2 \times 8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 10}$$

$$S = 7,496 \times 10^{-6} \text{ cm} \times \frac{10000 \text{ um}}{1 \text{ cm}} = 0,075 \text{ um}$$

#### 4.4 Análisis de las diferentes pruebas con los métodos de cobreado

Se realizó pruebas del cobreado con el agua acidulada (al 20% de HCl) donde se detalló en una tabla con las variables respectivas y los resultados en una escala de evaluación de manera cuantitativa:

1 = Malo

2 = Regular

3 = Bueno

4 = Muy bueno

5 = Excelente

**Tabla 4-1:** Tabla de Evaluación del proceso de cobreado con agua acidulada (20% HCl)

Número de prueba	Voltaje (V)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Resultado
1	4,7	1,07	29	2
2	1,0	0,22	25	3
3	5,0	0,28	10	1
4	3,8	3,50	60	1
5	2,3	2,6	10	2
6	3,2	4,04	20	2
7	1,0	0,82	32	4
8	3,7	1,94	17	3
9	5,7	0,32	23	3
10	3,7	3,41	20	4
11	0,4	0,21	37	3
12	3,34	2,48	30	5

Realizado por: Romero, D., 2023

**Análisis:** Al realizar las respectivas pruebas con el agua acidulada (al 20% de HCl) con la proporción de 650 ml y 650 ml de agua destilada para tener un electrolito de 1300 ml en la respectiva cuba, en estos procesos de recubrimientos es importante tener en cuenta el voltaje, corriente, el tiempo y el electrolito ya que depende para que salga muy bien el cobreado. La mejor prueba y más eficaz nos dio un voltaje de 3.34, una corriente de 2.48 en 30 minutos teniendo una evaluación “EXCELENTE” ya que fue preciso el voltaje y corriente y por ende el color y la fijación estaba mejor.



**Ilustración 4-1:** Prototipo del equipo de cobreado con agua acidulada (al 20% de HCl)

**Realizado por:** Romero, D., 2023



**Ilustración 4-2:** Varilla de acero de 30 cm antes y después del cobreado

**Realizado por:** Romero, D., 2023

Se realizó pruebas del cobreado con el sulfato de cobre donde se detalló en una tabla con las variables respectivas y los resultados en una escala de evaluación de manera cuantitativa:

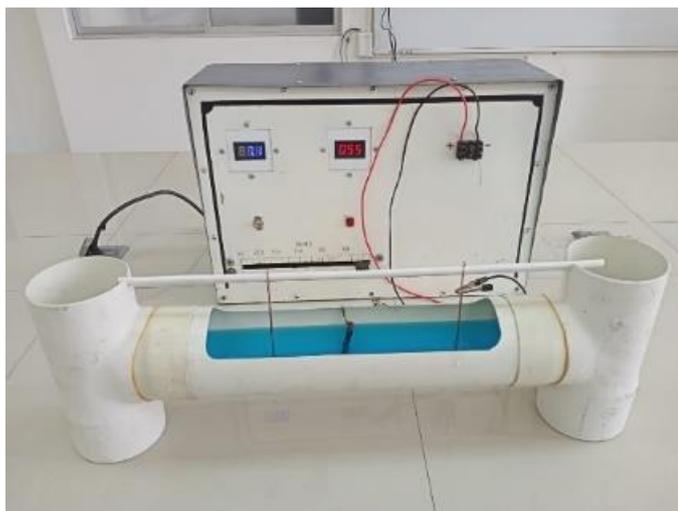
- 1 = Malo
- 2 = Regular
- 3 = Bueno
- 4 = Muy bueno
- 5 = Excelente

**Tabla 4-2:** Tabla de Evaluación del proceso de cobreado con sulfato de cobre

Número de prueba	Voltaje (V)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Resultado
1	6,5	0,05	3	2
2	7,0	0,06	10	1
3	6,9	0,05	3	3
4	7,0	0,02	3	2
5	6,5	0,03	2	1
6	7,0	0,03	3	2
7	6,8	0,05	15	1
8	7,3	0,03	10	2
9	7,1	0,04	13	2
10	2,8	0,15	1	3
11	3,6	0,11	1	3
12	6,5	0,43	5	5

Realizado por: Romero, D., 2023

**Análisis:** Al realizar las respectivas pruebas con el sulfato de cobre en una solución de 1500 ml de agua destilada y 80 g de sulfato de cobre donde mezclando este electrolito nos da el respectivo baño electrolítico, en estos procesos de recubrimientos es importante tener en cuenta el voltaje, corriente, el tiempo y el electrolito ya que depende para que salga muy bien el cobreado, con esta solución se pudo observar que si había el transporte de electrones del ánodo (cable de luz de cobre) al cátodo (varilla de acero) pero no se adhirió lo suficiente y se salió enseguida en el cual con un ánodo de cobre y una solución de sulfato de cobre, el ánodo se disuelve gradualmente liberando iones de cobre en la solución, mientras que estos iones de cobre se reducen y se depositan en el cátodo, formando una capa de cobre metálico esto también puede afectar ya que estamos trabajando con el ánodo de cobre y por esta razón se realizó el proceso de cobreado con la pila de carbón que es algo inerte por ende no se desgastará ni contaminará la solución con iones adicionales. Puede ser una opción más fácil de controlar en términos de contaminación y composición de la solución. La mejor prueba nos dio de voltaje 6.5, corriente de 0.43 en 5 minutos teniendo una evaluación “EXCELENTE” ya que fue preciso el voltaje y corriente y por ende el color y la fijación estaba mejor.



**Ilustración 4-3:** Prototipo del equipo de cobreado con sulfato de cobre

**Realizado por:** Romero, D., 2023



**Ilustración 4-4:** Varilla de acero de 30 cm antes y después del cobreado

**Realizado por:** Romero, D., 2023

Finalmente se realizó pruebas del cobreado con agua acidulada (al 2% de  $H_2SO_4$ ) donde se detalló en una tabla con las variables respectivas y los resultados en una escala de evaluación de manera cuantitativa:

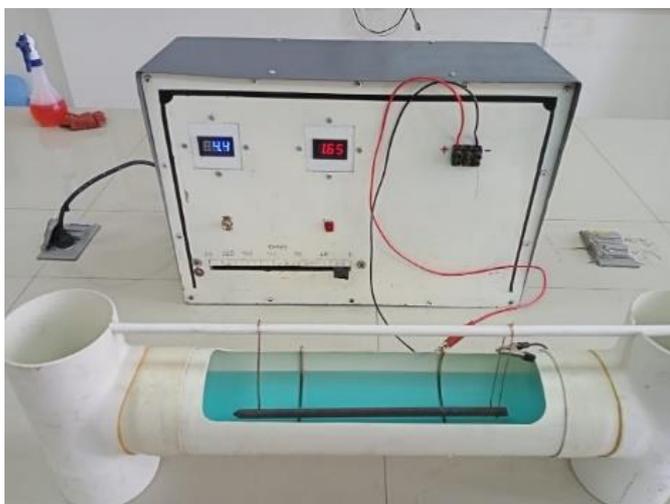
- 1 = Malo
- 2 = Regular
- 3 = Bueno
- 4 = Muy bueno
- 5 = Excelente

**Tabla 4-3:** Tabla de Evaluación del proceso de cobreado con agua acidulada (2% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Número de prueba	Voltaje (V)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Resultado
1	1,5	0,62	10	1
2	2	0,18	5	2
3	1,9	0,78	46	3
4	0,9	0,22	8	3
5	1,0	0,23	6	3
6	2,3	1,49	7	3
7	3,8	2,38	5	3
8	4,5	1,73	10	2
9	4,9	1,96	34	2
10	3,4	2,02	60	1
11	4,7	1,90	5	4
12	4,5	1,87	5	5

Realizado por: Romero, D., 2023

**Análisis:** Al realizar las respectivas pruebas con 600 ml del agua acidulada (2% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y 400 ml de agua destilada lo que cabe en la cuba electrolítica en estos procesos de recubrimientos es importante tener en cuenta el voltaje, corriente, el tiempo y el electrolito ya que depende para que salga muy bien el cobreado, con esta solución se pudo observar que si había el transporte de electrones del ánodo (cable de luz de cobre) al cátodo (varilla de acero) se fijaba de mejor manera. La mejor prueba nos dio de voltaje 4.5, corriente de 1.87 en 5 minutos teniendo una evaluación “EXCELENTE” ya que fue preciso el voltaje y corriente y por ende el color y la fijación estaba mejor.



**Ilustración 4-5:** Prototipo del equipo de cobreado con agua acidulada (al 2% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Realizado por: Romero, D., 2023



**Ilustración 4-6:** Varilla de acero de 30 cm antes y después del cobreado

Realizado por: Romero, D., 2023

## 4.5 Diseño del proceso

### 4.5.1 Selección del rectificador

Para la correcta selección del rectificador se debe saber cuál es la densidad de corriente que transcurre durante el proceso donde se tomó en cuenta la corriente máxima de las diversas pruebas que salieron y el área de la varilla que se va a cobrear.

$$\rho_{corriente} = \frac{A}{dm^2}$$

$$\rho_{corriente} = \frac{2,48 A}{1,176 dm^2}$$

$$\rho_{corriente} = 2,10 \frac{A}{dm^2}$$

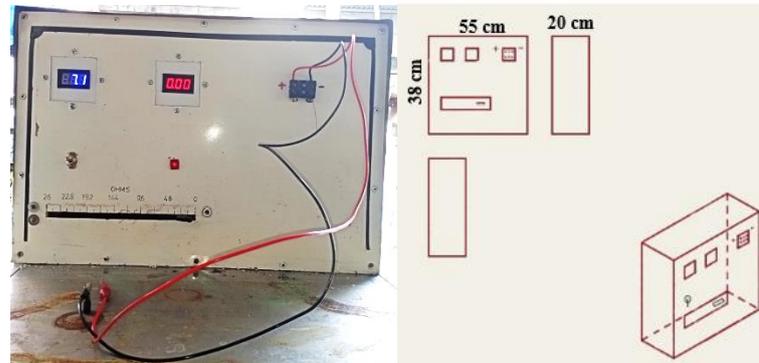
Para obtener la intensidad de corriente necesaria, multiplicamos el área máxima a recubrir y multiplicamos por la densidad de corriente necesaria:

$$I = A \times D$$

$$I = 1,176 dm^2 \times 2,10 \frac{A}{dm^2}$$

$$I = 2,47 A$$

Cabe recalcar que este rectificador puede avanzar hasta los 15 Amperios, pero los 2,47 Amperios fueron suficientes para poder realizar bien el proceso de cobreado. Esta fuente fue prestada en el lugar donde se realizó las respectivas pruebas.



**Ilustración 4-7:** Rectificador

Realizado por: Romero, D., 2023

#### 4.5.2 Dimensiones de la cuba electrolítica

- Volumen de la cuba

$$\text{Volumen del cilindro} = \pi r^2 h$$

$$\text{Volumen del cilindro} = 3,1416 \times (5,5\text{cm})^2 \times 33\text{ cm}$$

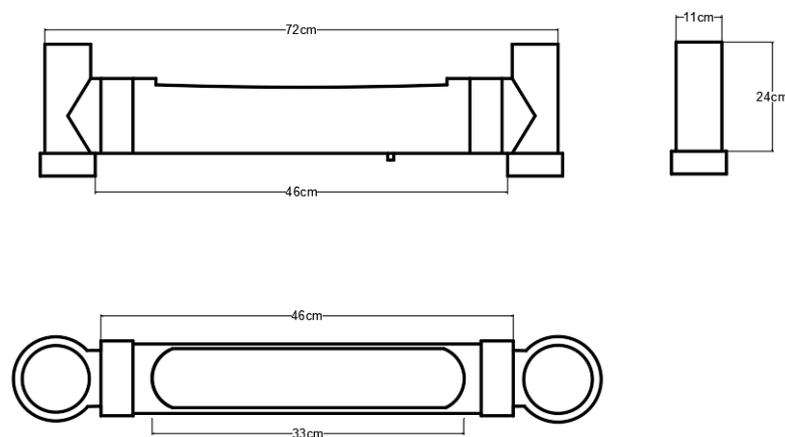
$$\text{Volumen del cilindro} = 3136,10\text{ cm}^3$$

- Volumen de electrolito:

$$\text{Volumen}_{\text{electrolito}} (\text{Agua acidulada } 20\% \text{ HCl}) = 1,3\text{ L} = 1300\text{ mL}$$

$$\text{Volumen}_{\text{electrolito}} (\text{Agua acidulada } 2\% \text{ H}_2\text{SO}_4) = 1\text{ L} = 1000\text{ mL}$$

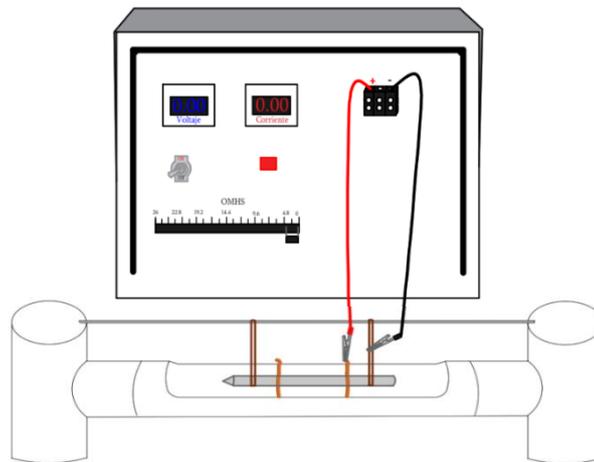
$$\text{Volumen}_{\text{electrolito}} (\text{Sulfato de cobre}) = 1,5\text{ L} = 1500\text{ mL}$$



**Ilustración 4-8:** Dimensiones de la cuba electrolítica PVC

Realizado por: Romero, D., 2023

#### 4.5.3 Diseño del equipo de cobreado



**Ilustración 4-9:** Diseño del equipo de cobreado para varillas de acero

Realizado por: Romero, D., 2023

#### 4.6 Validación económica del proyecto

Para el análisis económico se basará en los precios disponibles en el mercado.

**Tabla 4-4:** Costos de infraestructura

N°	Descripción	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
1	Tubo PVC de 110 mm de diámetro	1	12,00	12,00
2	Tes PVC 110 mm de diámetro	2	3,00	6,00
3	Cable de luz de hilos #8	2 metros	2,00	4,00
4	Barra de grafito	1	5,00	5,00
5	Varilla lisa 12 mm	1	3,55	3,55
6	Rectificador	1	350	350
			<b>Total</b>	<b>380,55</b>

Realizado por: Romero, D., 2023

**Tabla 4-5:** Costos de sustancias

N°	Descripción	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
1	Agua acidulada (2% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	8 (litros)	1,50	12
2	Sulfato de cobre	500 g	10,00	10,00
3	Agua destilada	12 litros	1,50	18
4	Ácido clorhídrico (20 % HCl)	3 (litros)	4,50	13,5
			<b>Total</b>	<b>53,5</b>

Realizado por: Romero, D., 2023

**Tabla 4-6:** Costos de materiales

N°	Descripción	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
1	Guantes de nitrilo negros	1 caja	2,61	2,61
2	Mandil de tela antilfluido	1	20	20
3	Gafas	1	6,00	6,00
4	Mascarillas	1 caja	2,63	2,63
5	Kalipega 125	1	3,13	3,13
6	Lija D/Agua	10	0.35	3,57
			<b>Total</b>	<b>37,94</b>

Realizado por: Romero, D., 2023

Se tiene un total de inversión de 471,99 dólares americanos donde se tomó en cuenta lo más esencial y necesario para el diseño del equipo de cobreado considerando que se realizó las respectivas pruebas con las barras de acero de 30 cm lo cual funcionó satisfactoriamente de manera correcta y eficaz el proceso del cobreado con los tres métodos. La viabilidad de la propuesta del diseño y producción se basa en este análisis absoluto, que determinará si su implementación es factible y rentable. Se ha elaborado para una producción de 100 barras cobreadas al día.

#### 4.6.1 Inversión Fija

La inversión fija se refiere al capital requerido para adquirir la maquinaria y equipos necesarios en todas las etapas del proceso. Estos recursos económicos son destinados a asegurar el funcionamiento óptimo de las actividades productivas relacionadas con el proceso del cobreado.

**Tabla 4-7:** Presupuesto de la Inversión Fija del proyecto

Equipo	Cantidad	Costo total (\$)
Rectificador	3	60000
Cubas PVC	6	
Ánodo (Cable eléctrico)	8	
Soporte de cátodos	16	
Caja de Guantes de nitrilo negros	5	
Gafas	4	
Caja de Mascarillas	5	
Ganchos de cobre (para sujetar)	16	
Cables de dientes de caimán	10	
Motorreductor para 110 V	3	
<b>TOTAL</b>		<b>60000</b>

Realizado por: Romero, D., 2023

#### 4.6.2 Proyección de gastos de producción

**Tabla 4-8:** Proyección de gastos de producción

Materias primas	Cantidad	Producto	Costo Unitario	Costo diario	Costo semanal	Costo mes	Costo año
Barras cobreadas	100	Barra	4	320	1600	6400	76800
<b>TOTAL</b>					<b>1600</b>	6400	76800

Realizado por: Romero, D., 2023

Tenemos que por cada 100 barras tendremos un costo diario de 320\$.

**Tabla 4-9:** Costo de trabajadores en la empresa

Personal	Cantidad	Salario Mensual (\$)	Gasto Mensual (\$)	Gasto Anual (\$)
Técnico	1	900	900	10800
Operario	1	550	1100	13200
<b>TOTAL</b>			2000	24000

Realizado por: Romero, D., 2023

**Tabla 4-10:** Costos de servicios básicos

Servicio	Consumo diario	Costo mensual (\$)	Costo Anual (\$)
Electricidad (KW/h)	10	200	2400
Agua Potable (m3)	0,1	2	24
<b>TOTAL</b>	10,1	202	2424

Realizado por: Romero, D., 2023

La proyección estimada del consumo de servicios esenciales considera la utilización de energía y agua potable en los procesos de cobreado correspondientes.

#### 4.6.3 Capital de operaciones

**Tabla 4-11:** Capital de operaciones

<b>GASTOS MENSUALES DE PRODUCCIÓN</b>	
<b>DETALLE</b>	<b>COSTO TOTAL (\$)</b>
Gastos de materia prima	6400
Costos de mano de obra	2000
Costos de servicios básicos	202
<b>TOTAL</b>	8602
<b>TOTAL ANUAL</b>	103224

Realizado por: Romero, D., 2023

Utilizando el capital de operaciones, se determinó un valor de 8602 \$ en los gastos mensuales de producción y 103224 \$ anuales, considerando los gastos de materia prima, costos de mano de obra y de servicios básicos.

#### 4.6.4 Inversión total

**Tabla 4-12:** Inversión total

Denominación	Costo total (\$)	%
<b>Inversión fija</b>	60000	87,5
<b>Capital de operaciones</b>	8602	12,5
<b>TOTAL</b>	68602	100%

Realizado por: Romero, D., 2023

Con el fin de determinar la inversión total necesaria para llevar a cabo el proyecto, se agrega la suma de los gastos relacionados con el capital de operaciones y los costos vinculados a la inversión fija que nos da un valor de costo total de 68602 \$.

#### 4.6.5 Costo de producción anual

**Tabla 4-13:** Costo de producción anual

Denominación	Costo total (\$)	%
<b>Material directo (materia prima)</b>	76800	74,4
<b>Mano de obra</b>	24000	23,3
<b>Servicios básicos</b>	2424	2,3
<b>TOTAL</b>	103224	100

Realizado por: Romero, D., 2023

#### 4.6.6 Cálculo del precio de venta al público

De acuerdo con (AGUILAR, 2023, p. 124) para calcular el precio de venta unitario de un producto relacionamos los costos de producción para la elaboración del producto añadiendo un margen de ganancia, es decir, lo que se quiere ganar. La relación se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$PVP = Gasto Semanal * (0,30) + Gasto Semanal$$

**Donde:**

**PVP** = precio de venta unitario al público

**Gasto Semanal** = Gastos semanales en la elaboración de las barras cobreadas

**0,30** = índice del margen de ganancia, considerando que un valor > 20% es bueno

$$PVP = 8602 * (0,30) + 8602$$

$$PVP = \$11183$$

Para determinar el costo por cada unidad, empleamos una regla de tres simple utilizando las cantidades proyectadas de producción mensual:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{PVP} & & \text{Unidades producidas} \\
 \$111833 & \longleftarrow & 2000 \text{ barras} \\
 X & \longleftarrow & 1 \text{ barra} \\
 & & x = \$5,59
 \end{array}$$

Se ha calculado un valor de \$5,59 para cada barra cobreada en 2000 barras al mes, las cuales están contempladas en esta propuesta técnica.

#### 4.6.7 Puesta en marcha del proyecto

**Tabla 4-14:** Puesta en marcha del proyecto

Producto	Cantidad de unidades que sale al mercado	Costo unitario \$	Ingresos diarios \$	Ingresos semanales	Ingresos mensuales \$	Ingresos anuales \$
Barras de acero SAE 1020 cobreada	100 barras diarias	5,59	559	2795	11180	134160

Realizado por: Romero, D., 2023

Al conocer los ingresos por ventas, determinamos las ganancias mensuales estimadas por la venta de las barras cobreadas.

$$\text{Ganancia mensual} = \text{Venta mensual} - \text{Inversión mensual}$$

$$\text{Ganancia mensual} = 11180\$ - 8602\$$$

$$\text{Ganancia mensual} = 2578\$$$

#### 4.6.8 Punto de equilibrio

El punto de equilibrio se alcanza cuando los ingresos se igualan a los costos. Para realizar el cálculo correspondiente aplicamos la fórmula propuesta por (AGUILAR, 2023, p.125).

$$PE = \frac{CFT}{1 - \frac{CVT}{VT}}$$

Donde:

*PE*=punto de equilibrio

*CGT*=costos fijos totales, corresponde a la inversión total del proyecto

*CVT*=costos variables totales, corresponde a los costos anuales

*VT*=ventas totales estimadas al año

$$PE = \frac{68602}{1 - \frac{103224}{134160}}$$

$$PE = 297505,9581$$

Margen de utilidad: 0,30

$$PE = 297505,9581 \times 0,30$$

$$PE = 89251,79$$

Los datos presentados indican que la empresa debe lograr ventas por un total de \$89251,79 para llegar al punto de equilibrio.

#### **4.6.9 Utilidad neta**

Al calcular la utilidad neta, obtendremos información acerca de los beneficios económicos que tendrá la empresa. La proyección de utilidad neta se extiende hasta 5 años, con el propósito de determinar el plazo necesario para recuperar la inversión fija requerida para que se implemente la empresa.

De acuerdo con (AGUILAR, 2023, p.126) se prevé para los gastos un ajuste del 2,5% a lo largo del tiempo, mientras que las ventas aumentarán en un 3%. Estos ajustes se efectúan en previsión de posibles cambios en el mercado, incrementos en los precios o la competencia.

Por lo tanto, las ventas proyectadas anuales se le multiplica por (1,025) y los costos de las unidades vendidas el (1,03) (AGUILAR, 2023, p.126).

$$2,5 \% + 100\% = 1,025$$

$$3 \% + 100\% = 1,03$$

**Tabla 4-15:** Flujo de caja en 5 años proyectados

Parámetro	Años proyectados				
	2023	2024	2025	2026	2027
Ventas anuales	134160	137514	140951,85	144475,65	148087,54
Costo de producción anual	103224	106320,72	109510,34	112795,652	116179,52
Utilidad neta o flujo de caja	30936	31193,28	31441,51	31679,99	31908,02

Realizado por: Romero, D., 2023

La tabla muestra las ganancias netas previstas para cada año proyectado, comenzando con una utilidad neta de \$30936 en 2023 y al terminar el año 2027 se tiene \$31908,02. Para evaluar la viabilidad financiera del proyecto, incorporamos estos valores en el cálculo del TIR y VAN.

#### 4.6.10 Valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto consiste en el valor resultante al restar la inversión inicial de los flujos futuros, lo cual nos brinda la posibilidad de comprender la rentabilidad del proyecto en términos económicos. El VAN se rige por las siguientes condiciones:

VAN < 0 el proyecto genera pérdidas por lo que debe rechazarse.

VAN > 0 el proyecto es viable obteniendo ganancias por lo que debe aceptarse.

VAN = 0 el proyecto no genera ni pérdidas ni beneficios.

Se calcula el VAN a partir de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{F}{(1 + i)^n}$$

**Donde:**

*I*=inversión de cada año.

*F*=flujo de caja estimado para cada año

*i*=tasa de interés que se exige a la inversión.

*n*=periodo de tiempo (años).

La tabla presenta una síntesis de los resultados derivados del cálculo del valor actual neto, considerando una tasa de interés estimada del 10% (0.10).

**Tabla 4-16:** Valor Actual Neto (VAN)

Inversión Inicial		68602			
Año	Tiempo (n)	Flujo de caja	Interés	Ecuación	I
2023	0	30936	10%	$I = \frac{F}{(1+i)^n}$	30936
2024	1	31193,28			28357,53
2025	2	31441,51			25984,72
2026	3	31679,99			23801,65
2027	4	31908,02			21793,60
<b>TOTAL</b>				<b>VAN</b>	<b>62271,50</b>

Realizado por: Romero, D., 2023

Para el flujo de caja en 5 años proyectados y considerando un 10% de tasa de interés se obtuvo un valor de VAN de \$62271,50.

#### 4.6.11 Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) constituye otro elemento esencial para evaluar la rentabilidad de una empresa, permitiéndonos verificar si la tasa de retorno supera la tasa de interés. A través de este indicador, se logra evaluar el beneficio o pérdida de un proyecto de inversión particular. Este proceso se lleva a cabo siguiendo las siguientes condiciones:

TIR < i el proyecto se rechaza.

TIR > i el proyecto se acepta.

TIR = i el proyecto indistinto.

##### 4.6.11.1 Cálculo del TIR

Para determinar el porcentaje de la tasa interna de retorno (TIR), empleamos Microsoft Excel, utilizando los flujos de caja y restando la inversión inicial. Los datos se ingresan en la aplicación utilizando la función:

**Tabla 4-17:** Tasa interna de retorno (TIR)

<b>Inversión inicial</b>	-68602
<b>Flujo de caja</b>	30936
	31193,28
	31441,51
	31679,99
	31908,02
<b>TIR</b>	<b>36%</b>

Realizado por: Romero, D., 2023

Al utilizar los valores que hemos definido, conseguimos una tasa interna de retorno (TIR) del 36%, la cual excede la tasa de interés del 10%. Esto implica que el proyecto es viable y puede ser llevado a cabo.

#### 4.6.11.2 Comprobación del TIR

**Tabla 4-18:** Comprobación del TIR

Inversión Inicial		68602			
Año	Tiempo (n)	Flujo de caja	Interés	Ecuación $F$	I
2023	0	30936	36%	$I = \frac{F}{(1+i)^n}$	30936
2024	1	31193,28			22936,24
2025	2	31441,51			16999,09
2026	3	31679,99			12594,14
2027	4	31908,02			9327,05
<b>TOTAL</b>				<b>TIR</b>	<b>24190,50</b>

Realizado por: Romero, D., 2023

#### 4.6.12 Periodo de recuperación

Al calcular el período de recuperación, se establecerá el lapso estimado para que la inversión sea retribuida, indicando cuándo empezaran a notarse los primeros beneficios de la ejecución del proyecto.

**Tabla 4-19:** Periodo de recuperación

Periodo (años proyectados)	Flujo de caja (I)	Flujo acumulado
0	-68602	-68602
1	30936	-37666
2	28357,53	-9308,47
3	25984,72	16676,24
4	23801,65	40477,89
5	21793,60	<b>62271,50</b>

Realizado por: Romero, D., 2023

La tabla muestra la suma acumulada de flujos netos del proyecto a lo largo de los 5 años de proyección. Este cálculo se realizó utilizando la inversión obtenida en el valor actual neto (VAN) con una tasa de descuento del 10%. En el periodo inicial (año 0), el valor de -\$68602 representa la inversión inicial del proyecto. A cada flujo de caja (I) se le suma el valor del flujo acumulado del año anterior, obteniendo un flujo acumulado de \$62271,50 en el último año.

Utilizando estos valores, determinamos el período de recuperación (PDR) empleando la fórmula que se presenta a continuación:

$$PDR = \text{último periodo acumulativo} + \frac{|\text{último periodo acumulativo}|}{\text{flujo de caja del año siguiente}}$$

$$PDR = 2 + \frac{|-9308,47|}{25984,72}$$

$$PDR = 2,36$$

2,36 años equivale a 2 años 4 meses se comienza a generar recuperación siendo un tiempo ideal a los 3 años de implementar el proceso, es decir que para los primeros meses del año 2026 la inversión inicial de \$68602 se recuperaría.

$$BC = \frac{BENEFICIO}{COSTO}$$

$$BC = \frac{62271,50}{24190,50}$$

$$BC = 2,57$$

Dado que el resultado en la relación Costo - Beneficio es superior a 1, podemos considerar que la inversión es aceptable y viable. Por cada dólar invertido, se obtendrá \$2,57 de retorno.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó un prototipo de un equipo de cobreado, para mejorar la conductividad eléctrica y protección de barras de conexión a tierra con la ayuda del software AutoCAD, se logró poner en práctica y satisfactoriamente salió eficiente y rentable.
- Se determinó las variables idóneas que intervienen en el proceso de cobreado como las concentraciones de los 3 diferentes electrolitos con Agua acidulada 20% de HCl, Agua acidulada 2% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y sulfato de cobre que se llevó a cabo en la parte experimental, el tipo de ánodo que en este caso se trabajó el cable de luz # 8 y la barra de grafito, de igual manera con el cátodo que fue el caso de las barras de acero SAE 1020 de 30 cm, y la importancia del voltaje, corriente y el tiempo.
- Se realizó los procesos diferentes y se definió el mejor método para el cobreado de las barras de conexión a tierra, con la ayuda del prototipo del equipo de cobreado mediante las pruebas que se realizó tanto para el proceso con agua acidulada (20% de HCl) se obtuvo un voltaje de 3,34 V, una corriente de 2,48 A en un tiempo establecido de 30 minutos, con el agua acidulada (2% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) se obtuvo un voltaje de 4,5 V, una corriente de 1,87 A en un tiempo establecido de 5 minutos y finalmente se obtuvo un voltaje de 6,5 V, una corriente de 0,43 A en un tiempo establecido de 5 minutos sulfato de cobre, se escogió las mejores pruebas de cada uno y mediante la observación de las barras cobreadas el mejor método fue con el agua acidulada (20% de HCl) ya que se notó la calidad en el recubrimiento e incluso el color fue muy similar a las barras que salen a la venta en el mercado adquiriendo de manera notable y eficaz las propiedades respectivas del cobre hacia la barra.
- Se estableció los parámetros técnicos para el diseño del equipo de cobreado, donde se creó una cuba electrolítica donde sus dimensiones fueron de largo total de 72 cm, 33 cm de largo útil de la cuba, 46 cm de dimensión interna, 11 cm de diámetro y 24 cm de altura con un volumen de 3136,10 cm<sup>3</sup> y las dimensiones del rectificador de corriente fueron de 55 cm de largo, 20 cm de ancho y 38 cm de altura.
- Se validó la factibilidad y viabilidad económica del equipo de cobreado, considerando cada uno de los gastos necesarios, obteniendo un valor de \$ 471,99 cabe recalcar que este equipo fue diseñado para realizar las pruebas con las barras de acero de 30 cm, se considera una cantidad rentable. Se realizó el análisis del TIR y VAN con respecto a la producción de barras cobreadas de 120 cm donde nos dio un valor de 36% considerando entonces que si se acepta el proyecto con \$62271,50 para el flujo de 5 años. Dado que el resultado en la relación Costo - Beneficio es superior a 1, podemos considerar que la inversión es aceptable y viable. Por cada dólar invertido, se obtendrá \$2,57 de retorno.

## RECOMENDACIONES

- Antes de comenzar el proceso de cobreado, asegurarse de tener un plan detallado que incluya los pasos, los materiales, los equipos y las cantidades necesarias. Esto ayudará a evitar errores y a mantener un proceso eficiente.
- La limpieza adecuada de las piezas a cobrear es esencial. Asegúrate de eliminar cualquier suciedad, óxido u otros contaminantes que puedan afectar la adherencia del cobre.
- Ajustar la corriente eléctrica de acuerdo con el área de la pieza que se desea cobrear, demasiada corriente puede causar problemas como descamación o agrietamiento del depósito.
- Trabajar en un entorno seguro y siguiendo todas las normas de seguridad. Usar equipo de protección personal, asegurarse de manejar sustancias químicas de manera adecuada y evita riesgos eléctricos.
- Mantener un estricto control sobre la contaminación de los baños electrolíticos. Llevar a cabo filtraciones y cambios periódicos de los electrolitos para evitar la acumulación de impurezas que puedan afectar la calidad del proceso.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, José. 2023.** *Diseño del proceso industrial para la elaboración de un fertilizante sólido a base de pollinaza para cultivos agrícolas.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba : 2023.
- ALTER, Luis, LIESA, Francisco y IRIBARREN, José Ignacio. 2003.** *Corrosión y protección.* Barcelona : Ediciones UPC, 2003. B401242003.
- ÁLVAREZ, Eulalia. 2021.** Oxidación y Corrosión. *Nskamericas.* [En línea] 11 de Febrero de 2021. <https://www.nskamericas.com/es/services/troubleshooting/damage-by-type/rust-and-corrosion.html>.
- ÁLVAREZ, Lucía y CHANGO, Cristina. 2012.** *Diseño y construcción de una planta piloto para recubrimientos metálicos.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba : 2012.
- ANDRADE, Carmen y FELIU, Sebastián. 1991.** *Corrosión y protección metálicas.* Madrid : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1991. 8400071409.
- BARAHONA, Andrés. 2019.** El instrumento del laboratorio mas codiciado la pipeta. *Hosteltur.* [En línea] 30 de Septiembre de 2019. [https://www.hosteltur.com/comunidad/nota/020051\\_el-instrumento-del-laboratorio-mas-codiciado-la-pipeta.html](https://www.hosteltur.com/comunidad/nota/020051_el-instrumento-del-laboratorio-mas-codiciado-la-pipeta.html).
- BARRAGÁN , César y ORTIZ, Wilson. 2021.** *Construcción e implementación de una planta didáctica automatizada del cobreado , niquelado, zincado, anodizado.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba : 2021.
- CALLISTER, William. 1996.** *Ciencia e Ingeniería de los materiales.* Barcelona : Reverté, 1996. 9788429172548.
- CGA. 2020.** ACERO AISI / SAE 1020. *Cía. General de Aceros.* [En línea] 2020. <https://www.cga.com.co/producto/acero-aisi-sae-1020/>.
- CHEMICAL EDUCATION MATERIAL. 1987.** *Química. Ciencia experimental.* México : Reverté, S. A, 1987. pág. 429. 978-84-291-7120-4.
- COEURET, Fausto. 1992.** *Introducción a la Ingeniería Electroquímica.* Barcelona : Reverté, S.A., 1992, 1992. 8429171177.
- DIARIO. 2021.** 1, 9 de Abril de 2021, Revista internacional de la institución de ingenieros de seguridad (India) - Pozo de tierra en materia de seguridad, Vol. 4.
- DICKERSON, Richard, y otros. 1992.** *Principios de Química.* Barcelona : Reverté, S.A., 1992, 1992. 8429171754.

- DUARTE, Ingrid. 2011.** Electrólisis. *Introducción a la Electroquímica*. [En línea] 17 de Octubre de 2011. <http://introduccionalaelectroquimicain.blogspot.com/2011/10/electrolisis.html>.
- EDITORIAL ETECÉ. 2021.** Cobre. *Concepto*. [En línea] 15 de Julio de 2021. <https://concepto.de/cobre/>.
- ESPINOZA, Diego y SILVA, Oscar. 2013.** *Construcción, implementación y pruebas de una planta piloto de cobreado, niquelado, cromado, galvanizado con sus respectivas prácticas de laboratorio*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba : 2013.
- EVANS, Ulick. 2003.** *Corrosiones metálicas*. Sevilla : Reverté S.A., 1987, 2003. 8429160442.
- FLORES, Jordan. 2022.** *Diseño del proceso de galvanizado para piezas eléctricas automotrices con producción a mediana escala*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba : 2022.
- FOWLER, Richard. 1997.** *Electricidad, Principios y aplicaciones*. Can Batlló : Reverté, S.A., 1997, 1997. 8429130284.
- GÓMEZ , Simón y GUTIÉRREZ, Biedma. 2002.** 1, Valencia : Departamento de Biopatología Clínica. Hospital La Fe., 2002, Análisis electroquímico, Vol. 51. 00347973.
- GÓMEZ DE LEÓN , Félix y ALCARAZ, Diego. 2004.** *Manual básico de corrosión para ingenieros*. Murcia : EDITUM, 2004, 2004. 8483715066.
- LÓPEZ, Oscar. 2010.** Celdas Electroquímicas. *La Guía*. [En línea] 7 de Abril de 2010. <https://quimica.laguia2000.com/general/celdas-electroquimicas>.
- MARTÍNEZ, Carlos, TORRES, Josué y GÓMEZ, Arturo. 2014.** *Propuesta de actualización de una planta piloto de galvanoplastia con un sistema automático*. Instituto Politécnico Nacional, México : 2014.
- MIPSA. 2021.** Recubrimientos metálicos: protección, funcionalidad y decorado de las superficies. *MIPSA - Expertos procesando metales*. [En línea] 14 de Julio de 2021. <https://www.mipsa.com.mx/2021/07/14/recubrimientos-metalicos-proteccion-funcionalidad-y-decorado-de-las-superficies/>.
- NARANJO, Eugenia, y otros. 2022.** 2, Riobamba : Ciencias Técnicas y Aplicadas, 2022, Caracterización del alambre de cobre y recubrimiento de acero por medio de electrólisis, Vol. 7, págs. 1-13. 2550682X.
- NOGUERA, Bulmaro. 2020.** Corrosión en materiales metálicos: Definiciones y cómo prevenirla. *Ingeniería Química*. [En línea] 2 de Agosto de 2020.

<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/08/corrosion-materiales-metalicos.html>.

—. **2020**. Material de volumetría. *IQR - Ingeniería Química*. [En línea] 7 de Julio de 2020. <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/07/material-de-volumetria.html>.

**QUÍMICAS. 2015**. La Electrólisis. *Químicas*. [En línea] 28 de Agosto de 2015. <https://www.quimicas.net/2015/08/la-electrolisis.html>.

**RAPID DIRECT. 2022**. Proceso de galvanoplastia: definición, cómo funciona y aplicaciones. *Rapid Direct*. [En línea] 13 de Agosto de 2022. <https://www.rapiddirect.com/es/blog/proceso-de-galvanoplastia/>.

**ROJAS, Mauricio. 2018**. ¿Qué es un acabado en galvanoplastia? *Cromadora Campos*. [En línea] 24 de Abril de 2018. <https://cromadoracampos.com.mx/uncategorized/que-es-la-galvanoplastia/>.

**SALAZAR, José. 2015**. 3, Cartago : Tecnología en Marcha, 30 de Septiembre de 2015, Revista Tecnología en Marcha - Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales, Vol. 28, págs. 127-136. 0379-3982.

**TERNIUM. 2020**. Diferencias entre la oxidación y la corrosión del acero. *Ternium*. [En línea] 11 de Diciembre de 2020. <https://www.ternium.com/es/novedades/noticias/la-oxidacion-y-la-corrosion-del-acero--13540664220>.

**VALLE, Angélica, PÉREZ, Tezozómoc y MARTÍNEZ, Miguel. 2001**. 182, Sanfandila : Instituto Mexicano del Transporte, 2001, El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado, Vol. 3. 01887297.

**WENTWORTH, Becker. 1977**. *Química General*. Barcelona : Reverté, S.A., 1977, 1977. 8429170456.



## ANEXOS

### ANEXO A: CONSTANTES ELECTROQUÍMICAS DE LOS METALES

MATERIAL	PESO ATOMICO	PESO ESPECIFICO (kp/m3)	SIMBOLO	EQUIVALENTE QUIMICO	Gr / Amp – h depositados con un n del 100%
Cobre	63,6	8,93	Cu	63,60	2,37160
Oro	197,2	19,30	Au	197,20	7,35690
Plata	107,9	10,50	Ag	107,90	4,02740
Cadmio	112,4	8,65	Cd	56,20	2,09680
Cobalto	58,9	8,90	Co	29,50	1,00940
Hierro	55,8	7,90	Fe	27,90	1,04200
Plomo	207,2	11,35	Pb	103,60	3,86540
Níquel	58,7	8,90	Ni	29,30	1,09480
Estaño	118,7	7,30	Sn	59,40	2,21420
Zinc	65,4	7,14	Zn	32,70	1,22100
Rodio	102,9	12,40	Rh	34,30	1,27970
Cromo	52,0	7,10	Cr	8,76	0,32340

### ANEXO B: PREPARACIÓN DE LA BARRA DE 30 CM



## ANEXO C: COMPONENTES DE LA SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA



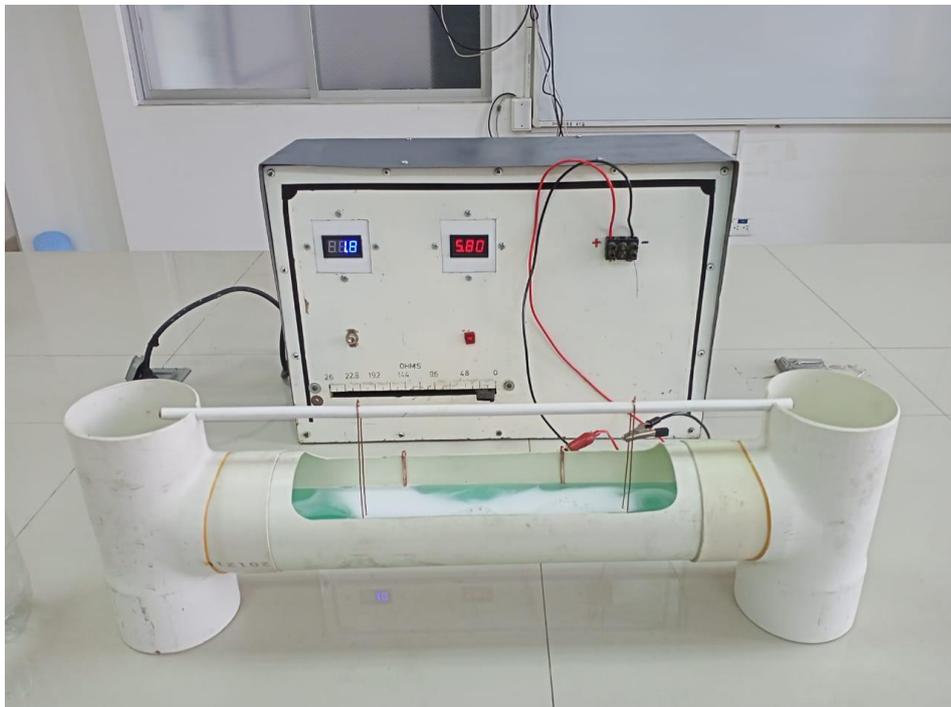
## ANEXO D: PREPARACIÓN DEL ELECTROLITO



## ANEXO E: ELECTROLITOS DE LOS MÉTODOS DE COBREDO



## ANEXO F: PROTOTIPO DEL EQUIPO DE COBREDO



**ANEXO G: PESO DE LA BARRA ANTES Y DESPUÉS DEL COBREADO**



**ANEXO H: BARRA DE 30 CM ANTES Y DESPUÉS DEL COBREADO**





epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 02 / 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Diego Gustavo Romero Caiza
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



2084-DBRA-UPT-2023