

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“RECUPERACIÓN DE SOLUCIÓN DECAPANTE Y
REDUCCIÓN DE COBRE Y ZINC POR
ELECTROCOAGULACIÓN EN UNA SOLUCIÓN SINTÉTICA
DE DECAPADO DE LATÓN”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL

DE INGENIERO QUÍMICO

JOSSELYN MILAGROS ORTEGA VEGA

A handwritten signature in black ink, corresponding to the name Josselyn Milagros Ortega Vega.

ELIAS RODAS PALOMINO

A handwritten signature in black ink, corresponding to the name Elias Rodas Palomino.

Callao, 2021

A handwritten signature in blue ink, corresponding to the name Elias Rodas Palomino.

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por la señorita Bachiller **ORTEGA VEGA JOSSELYN MILAGROS** y el señor Bachiller **RODAS PALOMINO ELIAS**, ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING° CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE	PRESIDENTE
LIC. SALVADOR APOLINAR TRUJILLO PÉREZ	SECRETARIO
ING° GLADIS ENITH REYNA MENDOZA	VOCAL
ING° FABIO RANGEL MORALES	ASESOR

Tal como está asentado en el Acta N° 006-2021-JS-FIQ de fecha **DIEZ DE JULIO DE 2021**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 245-2018-CU de fecha 30 de octubre de 2018.

DEDICATORIA

A Dios, por su bendición en esta lucha constante, a mi papá Mauro que en vida me formó con valores nobles, a mi mamá Flora por su constante apoyo, por sus palabras de aliento y por su inmenso amor en esta meta profesional.

A mis hermanos por ser un ejemplo a seguir, por motivarme a seguir progresando y por su constante apoyo.

Elias Rodas Palomino

A mis padres por brindarme su apoyo constante en cada uno de los pilares de mi vida profesional y por enseñarme a luchar día a día en alcanzar mis metas con humildad, amor y perseverancia.

A mis hermanos que son mi mayor fuerza para seguir adelante y triunfar junto a ellos, mi familia.

Josselyn Milagros Ortega Vega

AGRADECIMIENTO

A nuestra alma mater, la Universidad Nacional del Callao por facilitarnos sus instalaciones, haciendo posible la culminación de nuestra investigación.

A nuestro asesor el Mg. Ing. Fabio Rangel Morales, por brindarnos su experiencia, tiempo y paciencia en el desarrollo de esta investigación.

A todos los que de alguna u otra forma nos ayudaron a concretar esta investigación.

ÍNDICE

TABLAS DE CONTENIDO	5
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Descripción de la realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema.....	13
1.2.1. Problema general	13
1.2.2. Problemas específicos.....	13
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. Limitantes de la investigación	14
1.4.1. Teórico.....	14
1.4.2. Temporal	14
1.4.3. Espacial.....	15
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes	16

2.1.1. Antecedentes Internacionales	16
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	20
2.2. Bases Teóricas	25
2.2.1. Coagulación Química	25
2.2.2. Electrocoagulación	35
2.2.3. Decapado	47
2.3. Conceptual.....	50
2.3.1. Solución de decapado de latón	50
2.3.2. Electrocoagulación	51
2.3.3. Solución decapante sintética.....	52
2.4. Definición de términos básicos	52
III. HIPOTESIS Y VARIABLES.....	54
3.1. Hipótesis	54
3.1.1. Hipótesis General.....	54
3.1.2. Hipótesis Específicas	54
3.2. Definición conceptual de variables.....	55
3.2.1. Operacionalización de variable.....	55
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	57
4.1. Tipo y diseño de investigación	57

4.1.1. Tipo de la investigación	57
4.1.2. Diseño de la investigación	57
4.2. Método de investigación.....	59
4.3. Población y muestra.....	59
4.4. Lugar del estudio y periodo desarrollado	59
4.4.1. Lugar de estudio	59
4.4.2. Periodo de desarrollado	59
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	60
4.5.1. Técnica para la recolección de información	60
4.5.2. Instrumento para la recolección de información.....	63
4.6. Análisis y procesamiento de datos.....	85
V. RESULTADOS	86
5.1. Resultados descriptivos	86
5.2. Resultados inferenciales	86
5.3. Otro tipo de resultados estadísticos de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis	91
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	97
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	97
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	99

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	101
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
ANEXOS	108
1. Matriz de Consistencia	109
2. Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA.....	110
3. Certificados y ficha técnica de reactivos empleados en la investigación...	111
4. Análisis de ensayo inicial	116
5. Análisis de ensayo final.....	118

TABLAS DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de las fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión.	27
Figura 2 Mecanismos de coagulación de partículas coloidales.	30
Figura 3 Formación de compuestos insolubles a partir de materia orgánica soluble.	32
Figura 4 Instalación de coagulación-floculación empleada a escala industrial.	33
Figura 5 Esquema de diseño de un proceso electroquímico.	42
Figura 6 Celda de electrocoagulación con configuración monopolar en paralelo (a) y monopolar en serie (b)	45
Figura 7 Configuración bipolar en paralelo	45
Figura 8 Sales de sulfato de cobre y sulfato de zinc usadas para preparar la solución sintética de decapado de latón.	65
Figura 9 Preparación de la solución sintética de decapado de latón	66
Figura 10 Pesaje y preparación de la solución de hidróxido de sodio	68
Figura 11 Pesaje del ftalato de potasio y valoración de la solución de hidróxido de sodio	69
Figura 12 Dimensiones de la celda de electrocoagulación	71
Figura 13 Celda de electrocoagulación usada en la investigación	72

Figura 14 Electrodo usado en la investigación	73
Figura 15 Celda de electrocoagulación acondicionada de electrodos	74
Figura 16 Diagrama del proceso de electrocoagulación de la solución sintética de decapado de latón.	76
Figura 17 Corridas experimentales a 5 voltios	77
Figura 18 Corridas experimentales a 20 voltios	78
Figura 19 Muestra de las corridas experimentales y de la solución sintética	79
Figura 20 Valoración del ácido sulfúrico en las muestras	82
Figura 21 Equipo de Absorción Atómica usado para la lectura de Cobre y Zinc en las muestras	83
Figura 22 Gráfica normal de efectos estandarizados	87
Figura 23 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados	88
Figura 24 Gráfica de residuos para ácido sulfúrico	89
Figura 25 Concentración de cobre en cada muestra	93
Figura 26 Concentración de zinc en cada muestra	93
Figura 27 Concentración de ácido sulfúrico en cada muestra	94
Figura 28 Porcentaje de reducción de cobre en cada corrida	94
Figura 29 Porcentaje de reducción de zinc en cada corrida	95
Figura 30 Porcentaje de incremento de ácido sulfúrico en cada corrida	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Porcentajes de remoción respecto a la turbiedad según los diferentes coagulantes aplicados	27
Tabla 2	Consumo de energía del electrodo de aluminio para la remoción de contaminantes	37
Tabla 3	Ácidos y bases de decapado más importantes	49
Tabla 4	Operacionalización de variables dependientes e independientes	56
Tabla 5	Variables, Factores y Niveles del Diseño Experimental	63
Tabla 6	Diseño Experimental de la investigación	63
Tabla 7	Reactivos utilizados para la preparación de la solución decapante	65
Tabla 8	Diluciones, lecturas y concentraciones de cobre y zinc en las muestras	82
Tabla 9	Coeficientes codificados.	86
Tabla 10	Resumen del modelo.	86
Tabla 11	Análisis de varianza.	87
Tabla 12	Resultados de la investigación	92
Tabla 13	Porcentajes de reducción de cobre y zinc y porcentaje de incremento de ácido sulfúrico	93

RESUMEN

En la presente investigación se realizó la recuperación de la solución decapante, del cobre y zinc de baños de decapado de latón por electrocoagulación, para ello se requirió la construcción y utilización de una celda para la electrocoagulación de la solución decapante, para sedimentar estos metales y regenerar la solución de ácido sulfúrico, y así se reutilizar los mismos.

Se demostró que el proceso electrocoagulación puede ser aplicado al tratamiento de efluentes de la industria metalmecánica y fundición de cobre y aleaciones, contribuyendo de esta manera a la disminución del impacto ambiental significativo que generan estas empresas en el Perú, convirtiéndose en un proceso de tratamiento guía para otros efluentes de la industria metalmecánica visto con mucho interés desde el punto de vista económico ya que se puede reutilizar los metales disueltos y la solución de decapado gastada.

Los resultados que se obtuvieron fueron remociones máximas de 78,01 % para Cu, 46,12 % para Zn y un porcentaje de incremento de 10,42 % para H₂SO₄ los cuales se consiguieron para V = 20 voltios para el Cu y V = 5 voltios para el Zn, en una distancia entre electrodos de 1,3 cm y en un tiempo de tratamiento de 2 horas.

Palabras clave: *Electrocoagulación, decapado, cobre, zinc, ácido sulfúrico.*

ABSTRACT

In the present investigation, the recovery of the pickling solution, copper and zinc from brass pickling baths by electrocoagulation was carried out. This required the construction and use of a cell for the electrocoagulation of the pickling solution, to sediment these metals and regenerate the sulfuric acid solution, thus reusing them.

It was demonstrated that the electrocoagulation process can be applied to the treatment of effluents from the metal-mechanical industry and copper and alloy smelting, thus contributing to the reduction of the significant environmental impact generated by these companies in Peru, becoming a guiding treatment process for other effluents from the metal-mechanical industry. It is also of great interest from the economic point of view, since the dissolved metals and the spent pickling solution were reused.

The results obtained were maximum removals of 78.01 % for Cu, 46.12 % for Zn and a percentage increase of 10.42 % for H_2SO_4 which were achieved for $V = 20$ volts for Cu and $V = 5$ volts for Zn, at a distance between electrodes of 1.3 cm and a treatment time of 2 hours.

Keywords: Electrocoagulation, pickling, copper, zinc, sulfuric acid.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación planteó como objetivo estudiar la posibilidad de reducir la concentración de metales cobre y zinc disueltos en solución ácida de ácido sulfúrico, este tipo de soluciones son generadas como efluentes por algunas empresas del rubro metalmecánica y fundición. Excederse de los parámetros del anexo N°1 y anexo N°2 del DS N°010-2019-VIVIENDA, los cuales que se muestran en el anexo 2 de la presente investigación, conlleva a la suspensión del servicio por parte de la entidad prestadora y además del posible cobro por exceso que se ve reflejado en el recibo por consumo de agua y alcantarillado no doméstico de acuerdo a la resolución de consejo directivo N°025-2011-SUNASS-CD, para realizar esta investigación se preparó una solución sintética de decapado de latón que reunía las características de los efluentes en mención.

En vista de esta problemática esta investigación se enfocó a darle una solución, pero de una manera diferente a los tradicionalmente usado por empresas que tienen este tipo de efluentes. El tratamiento de este tipo de efluentes tradicionalmente consiste en primero realizar la neutralización con hidróxido de sodio para posteriormente disminuir la concentración de metales usando columnas de intercambio iónico y finalmente verter el efluente tratado, sin embargo en esta investigación se vio la posibilidad darle una solución novedosa, donde además de reducir las concentraciones de cobre y zinc; recuperar la solución de decapado, es decir, incrementar la concentración ácido sulfúrico y de esta manera dicha solución

se pueda reutilizar el proceso de decapado de latón para tal fin se usó el proceso de electrocoagulación, por lo cual se construyó una celda de electrocoagulación y se usaron electrodos de aluminio y de acero inoxidable.

Los resultados fueron favorables para la recuperación de la solución decapante, es decir, se pudo incrementar la concentración de ácido sulfúrico, por otro lado, los porcentajes de reducción de cobre y zinc no fueron los esperados, pero sí se logró una reducción considerable a pesar de ello el proceso de electrocoagulación resulta una alternativa interesante para aquellas empresas que buscan adecuarse a las normas nacionales vigentes y a la vez disminuir costos en su proceso al reutilizar la solución de decapado e inclusive los metales cobre y zinc disueltos en la solución de decapado, ya que en el proceso de electrocoagulación estos metales se aglomeran y precipitan siendo fácil su separación por filtración.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El latón es una aleación de cobre y zinc de aspecto similar al del oro, usado para aplicaciones de baja fricción, como cerraduras, válvulas, candados, aplicaciones eléctricas, y, extensamente, en instrumentos musicales, su extendido uso se debe a su bajo coste. En el proceso de producción de aleaciones de latón, la alta concentración de cobre afecta el acabado superficial de las piezas fabricadas, detectándose manchas rojas en la superficie de las piezas de latón, para eliminar dichas manchas se realiza el proceso de decapado, que consiste en sumergir las piezas en baños de ácido sulfúrico (Caviedes et al., 2015).

Durante el proceso de decapado de latón se consume el ácido sulfúrico debido a la generación sulfato de cobre y sulfato zinc, por ello se analiza la concentración de ácido sulfúrico en los baños y tras obtener resultados menores a 5 % de ácido en solución se opta por adicionar ácido a la solución, el decapado de latón es efectivo con concentraciones de ácido sulfúrico entre un 5 a 11 % en peso, por debajo de su valor mínimo se requiere mayor tiempo de trabajo. Cuando la solución de decapado está saturada toma una coloración muy oscura, entonces se realiza su neutralización con hidróxido de sodio para descargarlo al sistema de alcantarillado (Westres, 2013).

Por lo mencionado, se vio en la necesidad de proponer un proceso de recuperación de la solución decapante para su reutilización, así como la reducción de los metales

disueltos en ella. Si bien con el proceso convencional antes expuesto para la descarga de estas soluciones se cumple con el DECRETO SUPREMO N°010-2019-VIVIENDA “Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario” con respecto al pH de la descarga mas no así en los parámetros de metales (Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, 2019).

La presente investigación planteó la recuperación de la solución decapante saturada y precipitó los metales disueltos en la solución saturada de decapado que mayoritariamente fueron cobre y zinc.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Es posible la recuperación de la solución decapante y la reducción de cobre y zinc por electrocoagulación en una solución sintética de decapado de latón?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la solución sintética inicial de decapado de latón?
- b) ¿Cuáles son los parámetros operacionales del proceso de electrocoagulación?
- c) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la solución sintética de decapado de latón luego de la electrocoagulación?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Recuperar la solución decapante y reducir las concentraciones de cobre y zinc de una solución sintética de decapado de latón por electrocoagulación.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar las características fisicoquímicas de la solución sintética inicial de decapado de latón.
- b) Determinar los parámetros operacionales del proceso de electrocoagulación.
- c) Determinar las características fisicoquímicas de la solución sintética de decapado de latón luego de la electrocoagulación.

1.4. Limitantes de la investigación

1.4.1. Teórico

El tratamiento de aguas residuales de plantas metalmecánicas por electrocoagulación es un método poco difundido, pues la aplicación de la electroquímica para este fin es reciente.

1.4.2. Temporal

El proceso de electrocoagulación requiere de un tiempo de permanencia además los múltiples análisis fisicoquímicos antes y después del proceso deben ser hechos

al poco tiempo de tomar la muestra ya que hay ciertos análisis que deben ser hechos a la brevedad para obtener resultados confiables.

1.4.3. Espacial

La no disponibilidad de equipos, materiales y reactivos en los laboratorios de la universidad fue una limitante para realizar los experimentos pertinentes de la investigación. Estos fueron realizados en un laboratorio externo para el desarrollo de la electrocoagulación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Kim et al. (2020) en su investigación “Removal mechanism of heavy metal (Cu, Ni, Zn, and Cr) in the presence of cyanide during electrocoagulation using Fe and Al electrodes”, compararon la reducción de Cu, Ni, Zn, y Cr en aguas libre de cianuro y en aguas con cianuro además comparar el uso de electrodos de aluminio y electrodos de hierro, su muestra fue un agua residual artificial que fue preparada a base de sales de estos metales. La metodología que utilizaron fue de establecer cinco variables de operación: material de electrodo, concentración de cianuro, pH de trabajo, concentración de electrolitos y densidad de corriente, por otro lado, establecieron como variables respuesta: los porcentajes de remoción de metales pesados (Cu, Ni, Zn, y Cr), cantidad de lodo formado (kg) y energía utilizada (kW/h-m³). Los resultados que obtuvieron: generación de lodos entre 0,68 a 2,5 kg para electrodos de hierro; de 3,64 a 4,74 kg para electrodos de aluminio, gastos energéticos entre 0,37 a 2,78 kW/h-m³ para electrodos de hierro; de 4,80 a 5,04 kW/h-m³ para electrodos de aluminio, alta eficiencia de remoción de Cu, Ni y Zn para electrodos de aluminio; alta eficiencia de remoción de Cr para electrodos de hierro, la remoción de metales se vio favorecida por el incremento del pH.

Sher et al. (2020) en su investigación "Implications of advanced wastewater treatment: Electrocoagulation and electroflocculation of effluent discharged from a wastewater treatment plant", el objetivo de la investigación fue la inspección, a escala piloto, del tratamiento de aguas residuales mediante técnicas electroquímicas: electrocoagulación (EC), electroflotación (EF) y deposición electroforética (EPD) para la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO). La metodología que usaron fue de establecer tres variables de: el volumen tratado "V" (de entre 250 a 500 litros), el material de los electrodos (aluminio o hierro), la intensidad de corriente "I" (de entre 1 a 4 Amperios) en un tiempo constante se una hora y como variables respuesta: los porcentajes de eliminación de la DQO, adicionalmente caracterizaron las muestras (pH) tanto antes como después del tratamiento. Los resultados que obtuvieron fueron porcentajes de eliminación de la DQO entre 56 % a 57 % para el caso electrodos de hierro y de 12 % a 18 % en el caso de electrodos de aluminio, notaron que el incremento de la intensidad de corriente en el tratamiento provoca un incremento del pH final, además que la corriente aplicada es el parámetro más influyente.

Vosoogh et al. (2017) en su investigación "Removal of heavy metals and hardness from groundwater via electro-coagulation method", estudiaron la eliminación de tres metales pesados: el níquel, el cadmio y el plomo del agua subterránea a través de electrocoagulación. Para ello, como metodología usaron cuatro electrodos de aluminio para hacer experimentos a escala laboratorio. En esta investigación se ha estudiado la eficiencia de remoción de contaminantes y los parámetros como la

distancia entre los electrodos, la diferencia de potencial entre los electrodos y diferentes concentraciones iniciales de metales pesados con un tiempo de tratamiento de 20 min. Los resultados indican que la mayor eficiencia de remoción se consiguió a una diferencia de potencial a 15 V, distancia entre los electrodos a 2,2 cm, con una eliminación de más del 90 %. Además, el análisis de los resultados muestra que este proceso ha tenido una mayor eficiencia de eliminación en lo que respecta al plomo.

Murillo (2016) en su investigación “Propuesta de tratamiento para el agua residual industrial generada por procesos de cromado mediante electrocoagulación”, desarrolló la técnica de electrocoagulación como tratamiento para tratar el efluente de un proceso de cromado en una empresa de Recubrimientos Galvánicos. La metodología que utilizó fue construir una celda electrolítica que actuaba como un reactor tipo Batch, en el que de acuerdo al diseño experimental fueron llevados a cabo tres ensayos aplicando 10, 20 y 30 V, obteniendo un porcentaje de remoción medido en función de la concentración de cromo total de 60, 80 y 99 % respectivamente, al cabo de 35 minutos de tratamiento. Además, fueron empleadas tres placas de aluminio y tres de hierro que actúan como electrodos, ubicados a una distancia de 1 cm, una temperatura inicial de 18 °C, un pH inicial de 3,0 y una conductividad inicial de 2 mS/cm, concluyendo que el proceso de electrocoagulación puede tener resultados favorables cuando es aplicado en el tratamiento de aguas residuales provenientes de procesos galvánicos, facilitando la

remoción de contaminantes como cromo total, de manera efectiva en función del volumen a tratar.

Franco (2016) en su investigación “Electrocoagulación de selenio desde aguas residuales”, evaluó la electrocoagulación como un proceso tecnológico alternativo, para la remoción de Selenio desde un agua residual proveniente de una refinería de petróleo crudo. La metodología que utilizó fue evaluar la electrocoagulación en dos formas distintas: 1) con el uso de cátodos de grafito y nanopartículas, y la adición de peróxido de hidrógeno como medio oxidante; y 2) con el uso de cátodos de hierro y disolución anódica, con aire como medio oxidante. Evaluó los parámetros operacionales: densidad de corriente, dosificación de nanopartículas y tiempo de tratamiento. Los resultados muestran, que, para experiencias de electrocoagulación y uso de nanopartículas, se alcanzó una remoción del 93 %, con un tiempo de tratamiento de 4 h, densidad de corriente de 100 A/m^2 y una razón molar de 6000 molFe/molSe , mientras que, para la electrocoagulación por disolución anódica, se alcanzó un 90 % de remoción, con un tiempo de tratamiento de 4 h y densidad de corriente de 150 A/m^2 , concluyendo que el uso de nanopartículas es la técnica más eficiente, en comparación a la técnica de disolución anódica empleada.

Al-Shannag et al. (2015) en su investigación “Heavy metal ions removal from metal plating wastewater using electrocoagulation: Kinetic study and process performance”, eliminaron iones de metales pesados Cu^{+2} , Cr^{+3} , Ni^{+2} y Zn^{+2} de las aguas residuales de revestimiento metálico mediante la técnica de electrocoagulación. La metodología que usaron fue usar un electro-reactor con seis

electrodos de acero al carbono de configuraciones monopolar, usaron tres variables de operación: densidad de corriente "J" (mA/cm²), tiempo de residencia (t) y pH, y variables respuesta: porcentajes de eliminación de metales (Cu⁺², Cr⁺³, Ni⁺² y Zn⁺²), energía específica consumida "U" (kWh/m²) y cantidad específica de disolución de electrodos "W" (kg/m³). Los resultados mostraron una mayor eficiencia al aumentar tanto el tiempo de residencia, así como la densidad de corriente, más del 97 % de los iones de metales pesados se eliminaron de manera eficiente con J = 4 mA/cm², pH = 9,56 y t = 45 min, estas condiciones demandaron una energía específica consumida U = 6,25 kWh/m², concluyeron que el proceso de electrocoagulación consume poca cantidad de energía, lo que hace que el proceso sea económicamente factible y posible de ampliar.

2.1.2. Antecedentes nacionales

González y Malca (2019) en su investigación "Influencia del amperaje y tiempo de residencia sobre el porcentaje de remoción de metales pesados en el tratamiento de aguas ácidas de minera Yanacocha S.R.L. por electrocoagulación, 2018", determinaron la influencia de la densidad de corriente en la remoción de metales pesados de las aguas ácidas de dicha empresa minera por electrocoagulación, estas aguas ácidas estaban contaminadas con varios metales pesados y tenían un valor de pH entre 2,00 y 2,12. La metodología que utilizaron fue de establecer cuatro variables de operación: material de electrodo (hierro o aluminio), amperaje (I), cantidad de electrodos (n) y tiempo de residencia (t), por otro lado, establecieron variables respuesta: los porcentajes de remoción de metales pesados (varios),

trabajaron con un volumen de 80 litros y caracterizaron el pH antes y después del tratamiento. En los resultados se obtuvieron remociones de los metales pesados máximos (entre 70 % a 100 %) para las variables independientes: A = 10 amperios, n = 2 electrodos, t = 3 horas 36 minutos y electrodos de aluminio, adicionalmente señalan que el valor de pH de las aguas posterior al tratamiento estaba entre 5,15 y 6,00.

Condori (2018) en su investigación "Evaluación de la tratabilidad del efluente generado por un laboratorio metalúrgico aplicando la electrocoagulación", encontró las condiciones óptimas para remover los metales plomo, cadmio y cromo de dicho efluente por medio de la electrocoagulación hasta conseguir concentraciones de los mismos por debajo de los Valores Máximos Admisibles (VMA). La metodología que utilizó fue diseñar y construir una celda de electrocoagulación, con dimensiones de 40,8 cm de largo, 10,6 cm de ancho y 14 cm de alto, y un volumen de 6,168 litros, estableció una variable de operación: material de los electrodos (aluminio o hierro), y como variables de respuesta: porcentajes de reducción de los metales (plomo, cadmio y cromo), cabe señalar que para los electrodo usó una conexión en paralelo y configuración bipolar con espaciamiento de placas de 1 cm y tiempo de retención de 60 minutos. Los resultados que obtuvo fueron porcentajes de reducción máximos de 94,47 % para el plomo, 46,11 % para el cadmio y de 49,46 % para el cromo usando el electrodo de aluminio; para el cadmio y el mercurio se obtuvieron porcentajes bajos pero suficientes para conseguir la reducción de los mismos por debajo de los VMA.

Castañeda y Choton (2018) en su investigación "Estudio de la densidad de corriente y tiempo de residencia en el proceso de electrocoagulación y su influencia en la reducción de Fe^{+2} de solución de drenaje ácido de mina", evaluaron la influencia de la densidad de corriente y el tiempo de residencia en el proceso de reducción de Fe^{+2} por electrocoagulación del drenaje ácido de las minas artesanales del distrito de Quiruvilca. La metodología que utilizaron fue establecer dos variables de operación: densidad de corriente (J) en tres niveles (20, 40 y 80 mA/cm^2) y tiempo de residencia (t) en cuatro niveles (10, 20, 40 y 60 minutos), por otro lado, establecieron como variables respuesta: el porcentaje de remoción de Fe^{+2} , trabajaron con un volumen constante de 350 mililitros de muestra, con electrodos de aluminio y caracterizaron las muestras (pH y conductividad) antes y después del tratamiento. El resultado que obtuvieron fue una remoción máxima de 76,20 % de Fe^{+2} con: $J = 80 \text{ mA}/\text{cm}^2$ y $t = 40$ minutos, adicionalmente hicieron el análisis estadístico del ANOVA al 95 % de confianza con lo que llegaron a la conclusión que la densidad de corriente fue la variable de mayor influencia para la reducción del Fe^{+2} .

Huayta (2017) en su investigación "Propuesta de tratamiento electroquímico en aguas de filtración de relave, provenientes de Southern Copper Corporation en la región Moquegua, para su uso agrícola", construyó una celda electroquímica para tratar por electrocoagulación muestras recolectadas del relave de la empresa en mención y reducir las concentraciones de los iones Cl^- , Ca^{+2} y SO_4^{-2} hasta valores por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). La metodología que

utilizó fue de establecer una variable de operación: el voltaje (V) en tres niveles (10, 13 y 70 voltios), por otro lado, estableció tres variables respuesta: los porcentajes de remoción de Cl^- , Ca^{+2} y SO_4^{-2} , tomó medición de la intensidad de corriente durante el proceso y también caracterizó las muestras (pH y conductividad) antes y después del tratamiento. Los resultados que obtuvo fueron remociones máximas de 98,06 % para Cl^- , 78,28 % para Ca^{+2} y 98,69 % para SO_4^{-2} los cuales se consiguieron para un voltaje de 70 voltios, en un tiempo de tratamiento de 1 hora, finalmente pudo conseguir valores de concentración de Cl^- , Ca^{+2} y SO_4^{-2} por debajo de los ECA.

Quispe (2015) en su investigación "Electrocoagulación en la remoción de mercurio de las aguas residuales del centro poblado la Rinconada - Puno", encontró las condiciones óptimas para remover el mercurio de dos muestras de agua residual de dicho centro poblado por medio de la electrocoagulación a escala laboratorio. La metodología que utilizó fue el uso de una celda de material cerámico con una capacidad de 1 litro usando electrodos de aluminio en configuración monopolar (3 placas de aluminio conectadas al ánodo y 2 placas de aluminio conectadas al cátodo) con espaciamiento de placas de 2 centímetros, estableció tres variables de operación: densidad de corriente (J), concentración de cloruro de sodio (m) y el tiempo de electrocoagulación (t), por otro lado, estableció como variable respuesta: el porcentaje de remoción del mercurio. El resultado obtenido fue un porcentaje de remoción máximo de 97 % para la primera muestra y de 94,93 % para la segunda con las variables de operación $J = 6,61 \text{ mA/cm}^2$, $m = 3 \text{ g/L}$ y 30 minutos de tratamiento.

Westres (2013) en su investigación "Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales procedentes de una planta productora de sulfatos mediante el proceso electroquímico de electrocoagulación", disminuyó la concentración de metales pesados tales como boro, cromo, hierro, fósforo, molibdeno, níquel, plomo, talio y zinc por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) de los efluentes de una planta productora de sulfato de zinc y sulfato de magnesio mediante el proceso de electrocoagulación. La metodología que utilizó fue diseñar y construir un reactor de flujo continuo, luego estableció cuatro variables de operación: material de los electrodos (hierro o aluminio), densidad de corriente "J" (A/dm^2), pH de trabajo y caudal de entrada del efluente al reactor (Q), por otro lado, estableció como variables respuesta: los porcentajes de remoción de metales pesados (varios). Los resultados que obtuvo fueron las variables de operación $J = 5 A/dm^2$, pH de trabajo (entre 6 y 9), $Q = 14 mL/s$ y electrodos de aluminio con los cuales se consiguen mayores porcentajes de remoción de metales pesados (por debajo de los LMP) además de ello concluyó que los electrodos de aluminio generaron menor cantidad de lodos.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Coagulación Química

En suspensiones coloidales, obtener la segregación de sus componentes por decantación o flotación es difícil, esto se debe al pequeño tamaño de las mismas, además, debido a la existencia de cargas eléctricas en la parte externa de las partículas. Estas cargas son mayormente negativas, y están asociadas a la existencia de grupos carboxilo o hidroxilo en la superficie de las partículas orgánicas, y en el caso de los minerales se debe a la permutación de aluminio y silicio por cationes monovalentes (tales como el K^+ , el Na^+ o los H^+) (Martínez, 2007, p.19).

En la matriz de una suspensión coloidal las partículas habrá una atracción de partículas de carga opuesta por lo tanto se concentran alrededor de la partícula de esta forma se formará una capa de iones en la superficie de la partícula, y esta es la razón por la que existirán fuerzas de repulsión que serán mayores que las fuerzas de atracción. Esta es la razón por la que una suspensión coloidal es muy estable y por lo que separar o segregar a las partículas que componen esta suspensión en un tiempo de separación razonablemente cortos pues el tiempo de agregación es demasiado corto.

La química de la coagulación es extremadamente compleja. La siguiente discusión se limita a la química básica. Debido a que los coagulantes metálicos se hidrolizan para formar productos ácidos que afectan el pH, lo que a su vez afecta la solubilidad

del coagulante, es útil comenzar con una revisión de algunos conceptos básicos que ayudarán a explicar la interacción de los coagulantes y el pH (Davis, 2010, p.234).

La coagulación es un proceso químico complejo que implica la combinación de numerosos procesos sencillos. Comienza con la adición a una dispersión coloidal de un reactivo químico (normalmente una sal de catión polivalente) ver Tabla 1 que activa simultáneamente varios mecanismos de desestabilización coloidal, siendo los más importantes, la compresión de la doble capa eléctrica (como consecuencia del aumento en la fuerza iónica del medio que provoca este nuevo reactivo) y la neutralización de la carga superficial de las partículas coloidales (que está asociada a la adsorción de iones sobre la superficie de las partículas coloidales) para entender mejor la doble capa presente en las partículas en las suspensiones coloidales ver la Figura 1 (Davis, 2010, p.227).

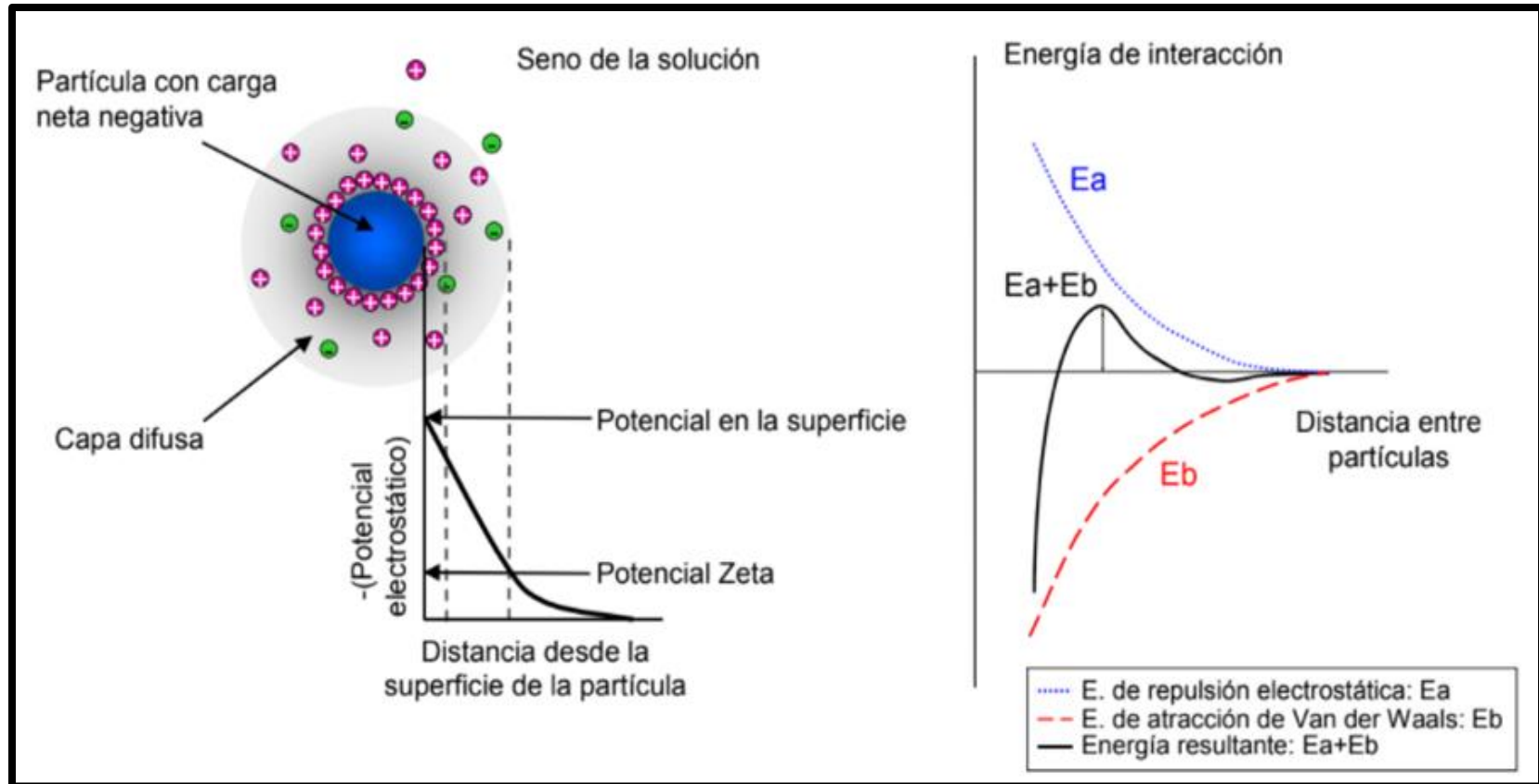
Tabla 1***Porcentajes de remoción respecto a la turbiedad según los diferentes coagulantes aplicados***

Coagulante	Dosis mg/L	Remoción %	Observaciones
FeCl ₃	5,00	21	Incremento de la coloración del agua tratada, lodos inestables, de difícil separación posterior
Al ₂ (SO ₄) ₃	44,30	52	Baja sedimentabilidad e incremento de turbiedad del agua
Hidroxiclорuro de aluminio (PAC)	0,29	97	Sedimentabilidad adecuada con formación de flóculos estables
Poliacrilamida	0,30	82	Formación de flóculos extremadamente viscosos de difícil limpieza
Clorosulfato de polialuminio	5,70	70	Baja sedimentabilidad y formación de flóculos inestables
Sulfato de polialuminio (SPA)	0,25	98	Sedimentabilidad adecuada

Fuente: Barrera (2014)

Figura 1

Esquema de las fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión



Fuente: Martínez (2007)

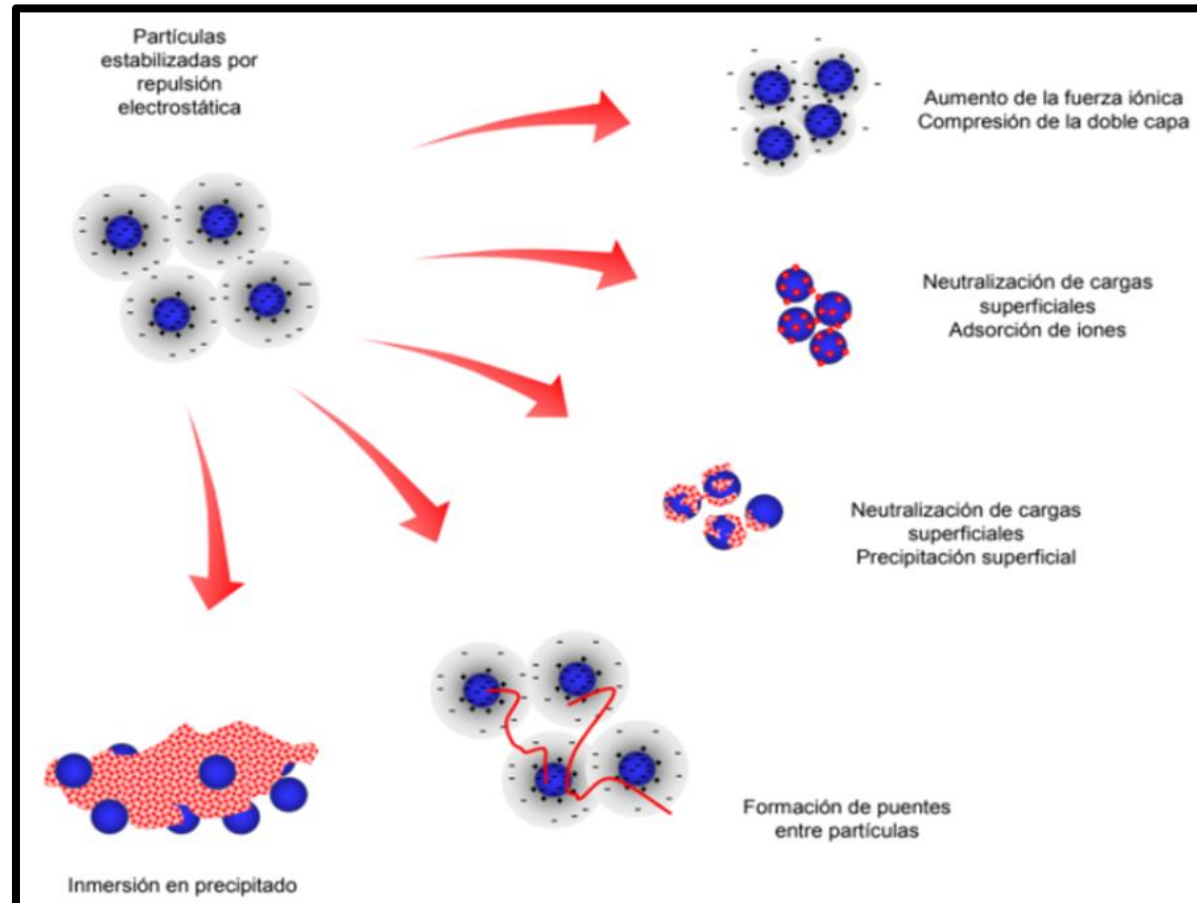
En los procesos de sedimentación, la adición de sales de aluminio o hierro puede dar lugar también a la formación de precipitados a partir de sus hidróxidos, que atrapen en su parte interna a las partículas coloidales. Asimismo, la adsorción de grupos activos de un mismo agente coagulante sobre diferentes partículas coloidales permite la formación de enlaces tipo puente entre partículas. Como consecuencia del proceso de coagulación por aumento de la fuerza iónica o por neutralización, las fuerzas de repulsión electrostáticas se hacen menores que las de atracción, la adsorción de grupos activos de un mismo agente coagulante sobre diferentes partículas coloidales permite la formación de enlaces tipo puente entre partículas. Este mecanismo puede ser conseguido por polímeros formados de forma natural tras la hidrólisis de sales de aluminio o hierro, pero su eficacia aumenta notablemente si se añaden polímeros orgánicos especiales (iónicos o no) con una cadena de gran tamaño (Martínez, 2007, p. 21).

Al proceso físico mediante el que se favorece que estas partículas choquen se le denomina floculación. Normalmente, en el tratamiento de agua el proceso de floculación se consigue agitando suavemente el agua para favorecer el movimiento interno de las partículas coloidales. En este sentido, la coagulación o floculación están claramente englobados en el concepto de coagulación y/o floculación, sino en ambos simultáneamente, y como tal aparecen mezclados en la bibliografía. El mayor tamaño de los sólidos generados tras el proceso conjunto de coagulación-floculación hace que sean susceptibles de ser separados mediante técnicas convencionales de separación sólido-líquido.

De esta forma, el mayor peso hace que su velocidad de sedimentación sea la adecuada para ser eliminados en decantadores convencionales, y su tamaño los hace adecuados para que las microburbujas de aire generadas en un proceso de flotación por aire disuelto se adhieran a su superficie y se posibilite su eliminación. Por tanto, los procesos de coagulación-floculación permiten tratar, combinadamente con la sedimentación o la flotación, efluentes con materia coloidal tal como se muestra en la Figura 2. El proceso de coagulación es muy similar al de la ruptura de emulsiones de aceite en agua. Este proceso, similar a la floculación explicada en el tratamiento de efluentes coloidales, se favorece por una agitación suave que posibilite el choque entre las microgotas ya desestabilizadas tal como se aprecia en la Figura 4.

Figura 2

Mecanismos de coagulación de partículas coloidales



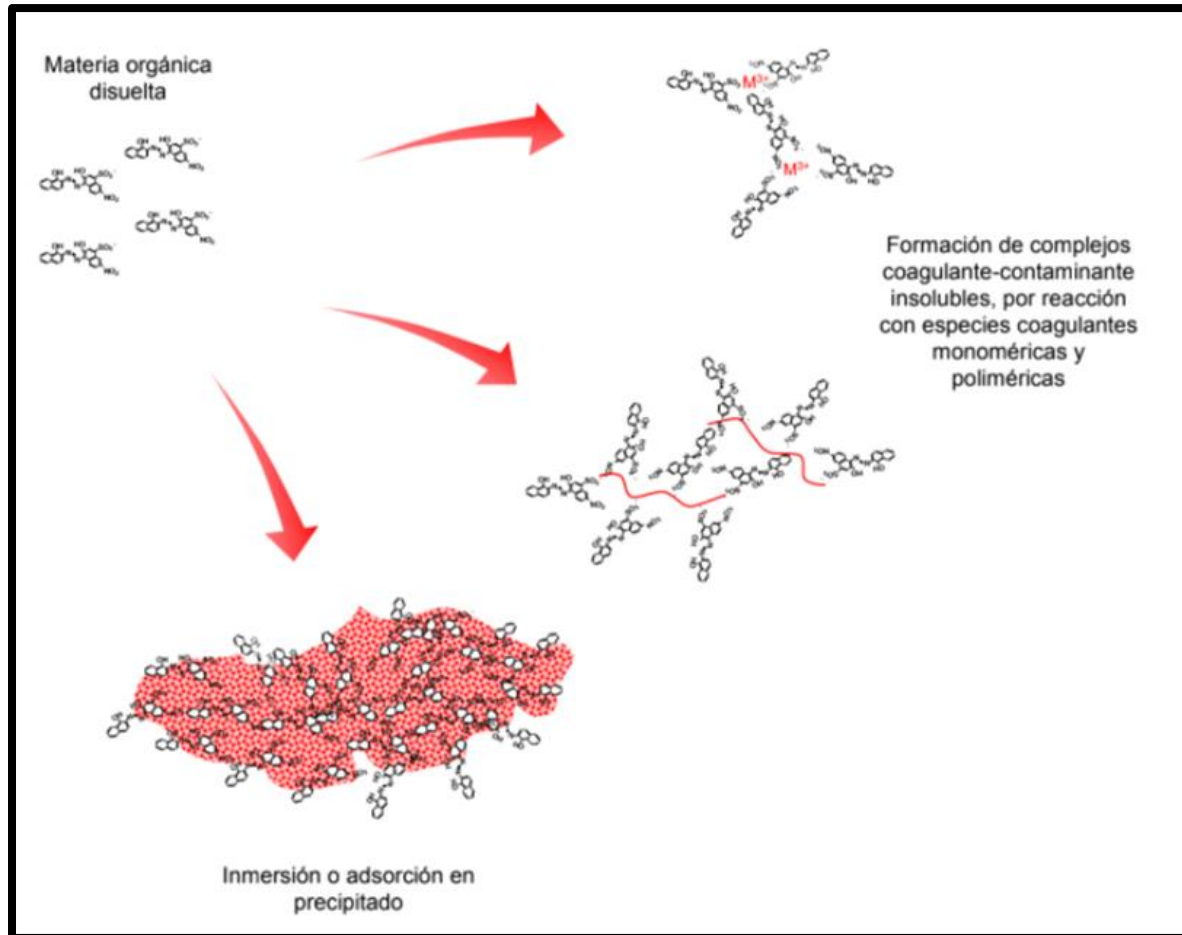
Fuente: Martínez (2007)

La coagulación de partículas coloidales están también muy relacionados con el de eliminación de contaminantes orgánicos solubles por formación de especies de solubilidad limitada o de formación de las partículas insolubles por sumersión de estas especies en precipitados de hidróxidos metálicos, ya que este último proceso tan sólo se diferencia en las etapas iniciales, esto ha sido ampliamente aprovechado en el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes o por componentes orgánicos más simples como es el caso del fenol, ver Figura 3 (Martínez, 2007, p. 22).

Cuando se busca la desestabilización de soluciones coloidales mediante el uso de sales de Fe (III) y de Al (III), por ejemplo, los cloruros o los sulfatos, estos han sido por lejos los reactivos de más amplio uso, y esto se debe a la elevada carga de estos cationes, ya que esto favorecen los procesos de desestabilización coloidal (y de desestabilización de las microgotas de las emulsiones) mediante la merma de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre partículas. A nivel industrial las operaciones de coagulación-floculación se llevan a cabo en depósitos agitados en los que se adicionan reactivos mediante bombas dosificadoras ver Figura 4 (Martínez, 2007, p. 23).

Figura 3

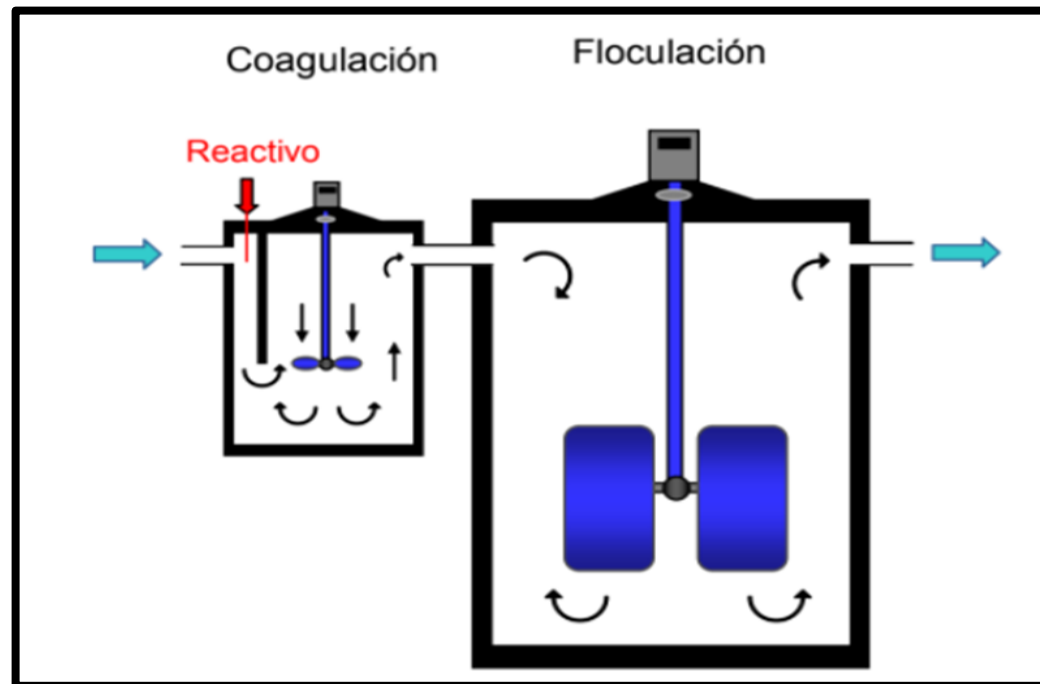
Formación de compuestos insolubles a partir de materia orgánica soluble



Fuente: Martínez (2007)

Figura 4

Instalación de coagulación-floculación empleada a escala industrial



Fuente: Martínez (2007)

Nota. La figura muestra en la parte de la coagulación la adición del coagulante para agrupar las partículas; luego durante la floculación la solución se mezcla suavemente, de modo que los pequeños grupos formados durante la coagulación, se reúnen y forman grupos más grandes

2.2.2. Electrocoagulación

La electrocoagulación es un método electroquímico usado para el tratamiento de aguas residuales que ha sido utilizado para remover un amplio número de contaminantes, este ha logrado ser comercializado, pero ha sido poco estudiado, a pesar de que este método tiene un gran potencial para eliminar las desventajas de los tratamientos clásicos para aguas residuales. La electrocoagulación es un proceso que implica varios fenómenos químicos y físicos, usa electrodos para proveer iones al agua residual que se desea tratar. En esta técnica el coagulante es generado 'in situ' debido a una reacción de oxidación del ánodo y las especies cargadas o metales pesados pueden ser removidos del efluente debido a la reacción entre iones con carga opuesta o debido a la formación de flóculos de hidróxidos metálicos (Sillanpää y Shestakova, 2017).

La electrocoagulación implica varias etapas: (i) Debido a la oxidación del electrodo se presenta la formación de coágulos. (ii) Desestabilización del contaminante, partículas en suspensión y rompimiento de emulsiones. (iii) Para lograr la formación de flóculos se agrega partículas desestabilizadas. (iv) Remoción del material contaminante por flotación y sedimentación.

A. Factores que afectan la electrocoagulación

- **Densidad de corriente**

El suministro de corriente a un sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de Al^{3+} o Fe^{2+} liberados por los electrodos respectivos. Para el aluminio, la masa equivalente electroquímica es 335,6 mg/L, para el hierro, el valor es 1041 mg/L. Para un largo periodo de tiempo sin mantenimiento se sugiere que la densidad de corriente se mantenga entre 20-25 A/m². La selección de densidad de corriente debe realizarse en conjunto con otros parámetros de operación, como valores de pH, temperatura y flujo, para asegurar una alta eficiencia de corriente. La calidad del agua tratada depende de la cantidad de iones producidos o de la carga, así como del producto de la corriente y del tiempo suministrados al sistema (Barrera, 2014, p. 171).

- **Presencia de sales**

Usualmente se usa el cloruro de sodio con el fin de incrementar la conductividad del agua o del agua residual que se va a tratar. Además de esta contribución iónica, se encontró que los iones cloruro podrían reducir los efectos negativos de otros aniones, como HCO_3^- , SO_4^{2-} ; ya que la existencia de los iones bicarbonato o sulfatos conducirán a la precipitación de los iones Ca^{2+} o Mg^{2+} que forman una capa aislante sobre la superficie de los electrodos; esta capa aislante aumentaría el potencial entre electrodos, y su resultado es un significativo decremento en la eficiencia de la corriente. Por lo tanto, es recomendable que las cantidades de

aniones Cl^- presentes alrededor del 20 % para asegurar una operación normal de electrocoagulación (Barrera, 2014, p.172).

Tabla 2

Consumo de energía del electrodo de aluminio para la remoción de contaminantes

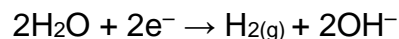
Contaminante	Unidades	Tratamiento electroquímico	
		Al^{3+} (mg)	E (Wh/m ³)
Turbidez	1 mg	0,15 a 0,20	20 a 40
Color	1 unidad	0,10 a 0,20	40 a 80
Silicatos	1 mg/SiO ₂	1,00 a 2,00	100 a 200
Metales	1 mg Fe	1,00 a 1,50	100 a 200
Algas	1000	0.02 a 0.03	10 a 20
Bacterias	1000	0,15 a 0,20	40 a 80

Fuente: Holt (2002)

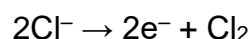
- **Efecto del pH**

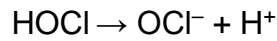
Si hablamos del efecto del pH en los procesos de tratamiento por electrocoagulación de aguas residuales es de mucha importancia pues el efecto del pH se refleja en la eficiencia de corriente, así como en la solubilidad de hidróxidos metálicos. El pH de trabajo depende mucho de la naturaleza de los contaminantes; sin embargo, se ha encontrado que las eficiencias de corriente del aluminio son más altas a condiciones ácidas o alcalinas que a condiciones neutras. Se han reportado eficiencias del 53 % en la DQO a valores de pH óptimo de 4 a 6 también se han reportado remociones del 70 % de DQO con ánodos de hierro y un 50 % de DQO con ánodos de aluminio, para un efluente industrial a un valor de pH de 8 siendo este valor de pH el más adecuado para la mayoría de tratamientos (Barrera, 2014, p.173).

Según (Barrera, 2014), el aumento del pH a condiciones ácidas se favorece a la generación de hidrógeno en el cátodo, producido por la reducción del agua que genera H_2 y OH^- , como se observa en la siguiente reacción:

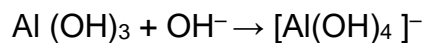


Además, Barrera indica que la eliminación de hidrógeno, existe la formación de $Al(OH)_3$ cerca del ánodo produce H^+ , y ésta es la causa de la disminución del pH. Si existe la presencia hay iones cloruro se llevan a cabo las siguientes reacciones:





También Barrera menciona que las mejores eficiencias de remoción de contaminantes reportadas utilizando electrodos de aluminio son cercanas a un pH neutro. El incremento del pH con influentes ácidos se debe al dióxido de carbono producido por el burbujeo de hidrógeno, a la formación de precipitados de otros aniones con Al^{3+} y al cambio de equilibrio en la reacción de generación de hidrógeno de acuerdo con la reacción:



- **Efecto de la temperatura**

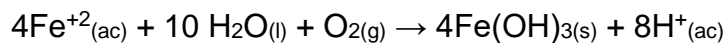
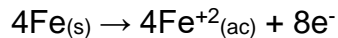
La temperatura en este tratamiento no ha sido muy investigada, las investigaciones muestran que la eficiencia máxima de corriente se consigue si se incrementa la temperatura hasta 60 °C. El aumento de la eficiencia de corriente con temperatura se le asigna al incremento en la actividad de destrucción de la película de óxido de aluminio sobre la superficie del electrodo. Cuando la temperatura es tan alta, hay una retracción de los grandes poros del gel $\text{Al}(\text{OH})_3$ y se forman flóculos más compactos, los cuales se depositan más fácilmente en la superficie del electrodo. Al incrementar la temperatura se incrementa la conductividad y, por lo tanto, se reduce el consumo de energía (Barrera, 2014, p.174).

- **Tipo de material de los electrodos**

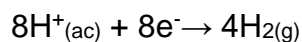
Los materiales que comúnmente se emplean en el proceso de electrocoagulación son el aluminio y el hierro. La configuración de los electrodos, generalmente, es en forma de platos de aluminio o hierro; se ha encontrado que la principal aplicación de los electrodos de aluminio es para el tratamiento de aguas, debido a su alta eficiencia en la autogeneración de agentes coagulantes. Para el caso en el cual el hierro actúa como ánodo, se han propuesto dos mecanismos que explican la formación in situ de dos posibles coagulantes. Estos pueden ser hidróxido ferroso Fe(OH)_2 o hidróxido férrico Fe(OH)_3 (Restrepo et al., 2006).

Mecanismo 1: Formación del hidróxido férrico

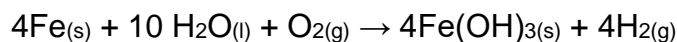
En el ánodo se presentan las siguientes reacciones de oxidación



En el cátodo ocurre la reacción:

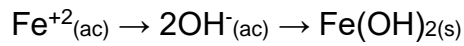
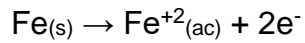


Reacción global:

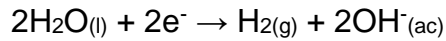


Mecanismo 2: Formación del hidróxido ferroso

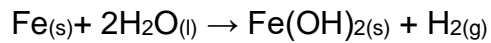
En el ánodo se dan las reacciones:



En el cátodo:



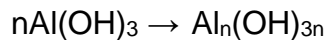
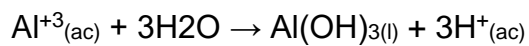
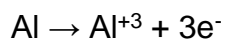
Reacción global:



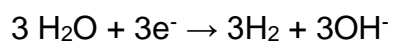
Posterior a la formación de los hidróxidos de hierro los coloides se aglomeran, en especial aquellos con carga negativa, y luego otras partículas de contaminantes interactúan con estos aglomerados, siendo trasladados por formación de complejos o atracciones electrostáticas.

Cuando el aluminio actúa como ánodo las reacciones son las siguientes:

En el ánodo:



En el cátodo:



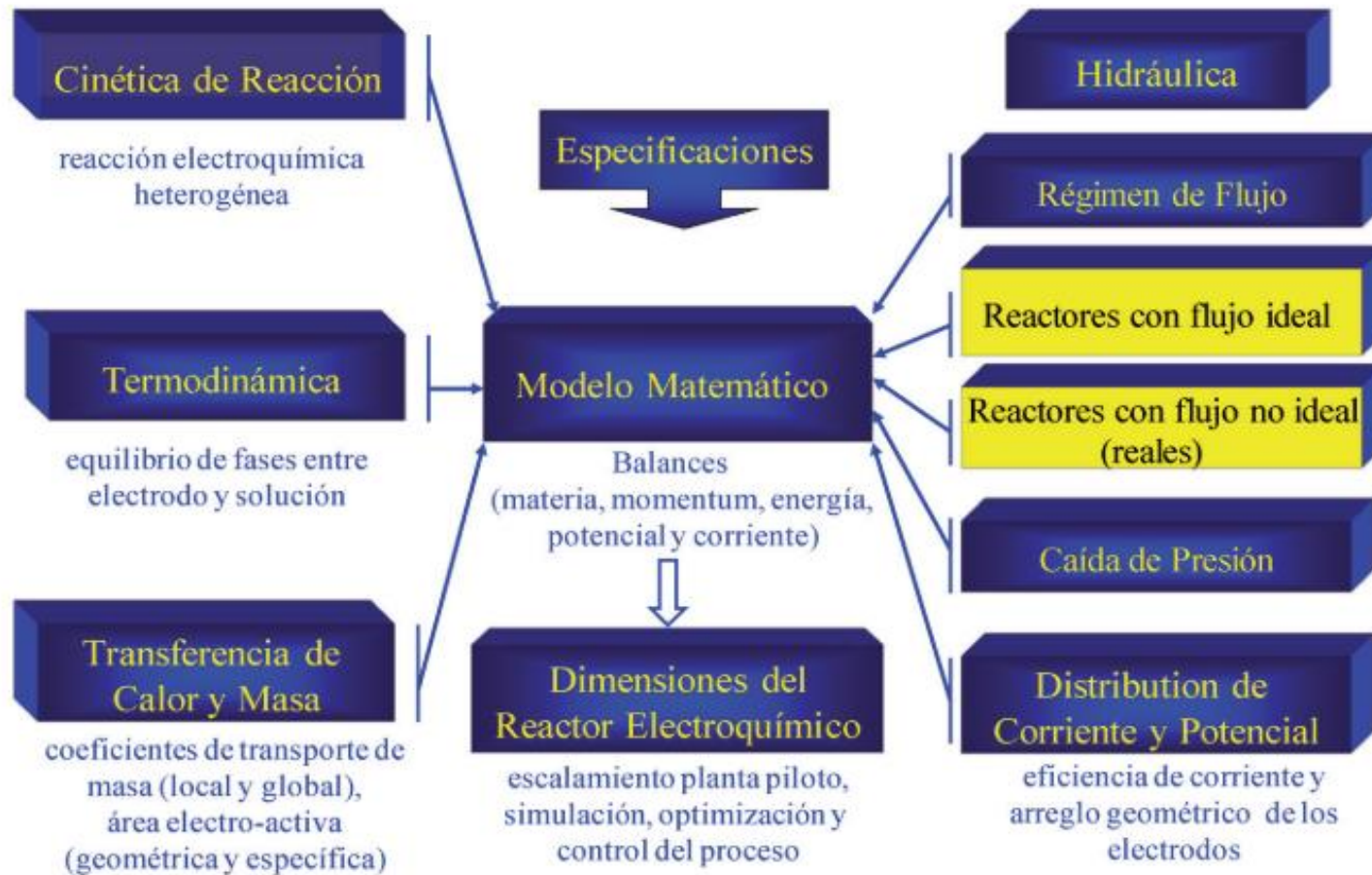
Restrepo et al., hacen mención que los iones Al^{+3} en mezcla con los OH^- reaccionan para formar alguna especie monoméricas como $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Al}_2(\text{OH})^{+2}$ y otras poliméricas, tales como $\text{Al}_6(\text{OH})^{+15}$, $\text{Al}_7(\text{OH})^{+17}$ que por procesos de precipitación forman el $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$, como se muestra en la reacción de ánodo. El $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ es una sustancia amorfa de carácter gelatinoso, que expone una importante área superficial con propiedades absorbentes y que es propicia para los procesos de adsorción y atracción de las partículas contaminantes.

B. Diseño de una celda de electrocoagulación

Un reactor de electrocoagulación es una celda electroquímica donde el ánodo metálico generalmente, de aluminio, y algunas veces, de hierro se usa para dosificar al agua contaminada un agente coagulante. La electrocoagulación produce cationes metálicos in situ, en lugar de dosificarlos externamente. Al mismo tiempo, se generan gases electrolíticos, especialmente hidrógeno (Barrera, 2014, p.176). Para el diseño y la descripción de reactores electroquímicos es necesario un trabajo multidisciplinario; como la electroquímica fundamental, la física y la ingeniería química, entre otras, como se observa en la Figura 5, es importante mencionar que el movimiento del electrolito y del transporte de masa a la superficie de los electrodos también impactan en el rendimiento del reactor electroquímico (Barrera, 2014, p.121).

Figura 5

Esquema de diseño de un proceso electroquímico



Fuente: Barrera (2014)

La implementación de procesos electroquímicos a nivel industrial requiere del diseño eficiente del dispositivo central: el reactor electroquímico. El diseño de estos dispositivos se ha llevado a cabo recurriendo a dos estrategias: una, que utiliza ecuaciones fenomenológicas fundamentales, y la otra, que utiliza la caracterización experimental, generando números adimensionales y parámetros que cuantifican el grado de desviación de un patrón de flujo ideal, necesarios en la resolución de modelos paramétricos que describen el funcionamiento de un reactor electroquímico con geometrías complejas de electrodos.

Un reactor de electrocoagulación en su forma más simple tiene un ánodo y un cátodo, los cuales están conectados a una fuente de poder externa. Cuando el potencial es aplicado el material del ánodo es oxidado, mientras el material del cátodo es reducido. Para el diseño de una celda de electrocoagulación se deben tener en cuenta los siguientes aspectos (Barrera, 2014).

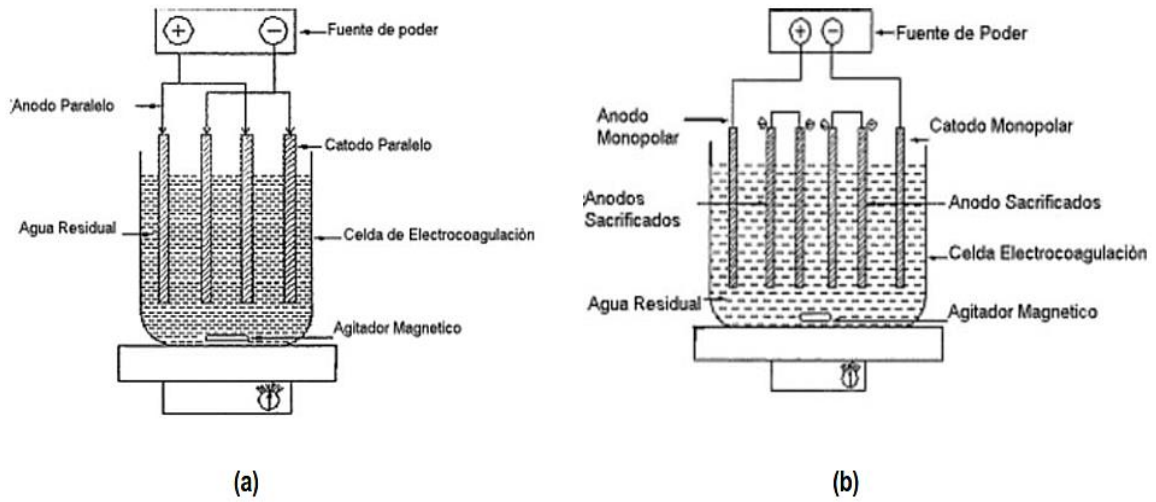
- a) Tipo de operación: Batch o continuo
- b) La acumulación de burbujas de O_2 y H_2 en los electrodos debe ser minimizada ya que estas incrementan la resistencia, necesitándose más energía.
- c) La transferencia de masa entre los electrodos debe ser óptima y para esto se debe garantizar flujo dentro del reactor.
- d) La conductividad de la solución y la sustancia electrolítica.
- e) La distancia entre electrodos
- f) La geometría del electrodo

- g) Geometría del reactor: influye en la formación de los flóculos, el movimiento de las burbujas y el régimen de flujo.
- h) Escalado del reactor: mediante parámetros como la relación área-volumen, el número de Reynolds y la similaridad geométrica se realiza el escalamiento desde el laboratorio a la industria.
- i) Densidad de corriente: depende del contaminante que se desea remover y de la escala a la cual se realizará el montaje. Determina la dosificación del metal a la solución y la densidad de producción de burbujas.
- j) Material de los electrodos.
- k) Voltaje aplicado: es directamente proporcional al costo energético y puede variar por factores como la conductividad de la solución, la distancia entre los electrodos y el material o la geometría de los mismos.
- l) Tipo de la conexión eléctrica: determinan un mayor o menor gasto de energía.
 - Monopolar: los electrodos están conectados en paralelo y sometidos al mismo potencial, generando mayor gasto de energía.
 - Bipolar: solo los electrodos de los extremos están directamente conectados a la fuente, los electrodos restantes toman la polaridad opuesta al electrodo que tiene enfrente.

A continuación, en las figuras 6 y 7, se presentan los esquemas de conexiones en serie y paralelo, además de las diferentes configuraciones.

Figura 6

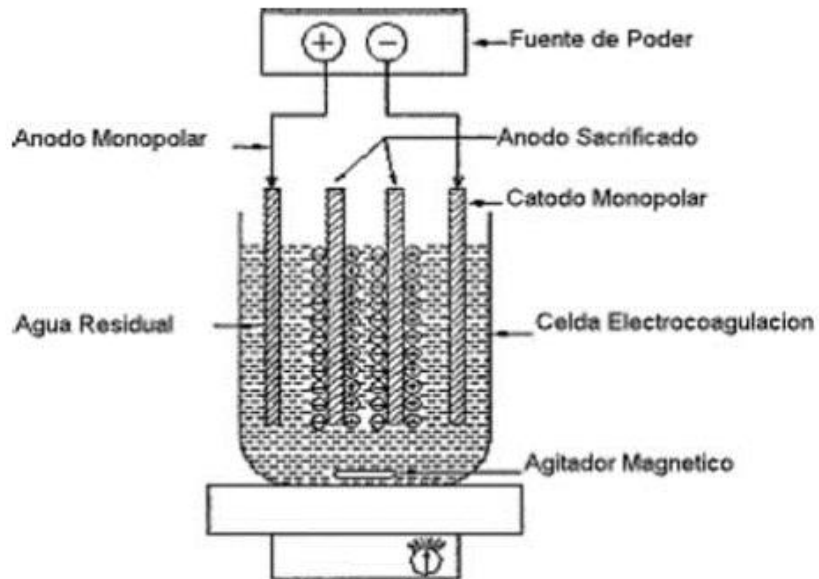
Celda de electrocoagulación con configuración monopolar en paralelo (a) y monopolar en serie (b)



Fuente: Sillanpää y Shestakova (2017)

Figura 7

Configuración bipolar en paralelo



Fuente: Sillanpää y Shestakova (2017)

2.2.3. Decapado

Es un tratamiento superficial empleado para la eliminación de las impurezas en los metales; tales como manchas, contaminantes inorgánicos, herrumbre o escoria, de aleaciones de metales ferrosos, cobre, y aluminio (De Gruyter, 1994). Para eliminar este tipo de impurezas superficiales se utiliza una solución denominada licor de pasivado. Por lo general es utilizado para quitar escorias, limpiar aceros en varios procesos de fabricación de componentes mecánicos, antes de realizar otras operaciones tales como extrusión, soldadura, pintura, plateado (Wang et al., 2009).

A. Tipos de decapado

Existen fundamentalmente tres tipos de decapado:

- Decapado químico.
- Decapado electroquímico.
- Decapado mecánico.

Los medios decapantes consisten en ácidos, puros o mezclados, disueltos en agua con aditivos. Los principales aditivos utilizados son:

- Inhibidores de decapado.
- Humectantes y tensoactivos.
- Antiespumantes.

Los sectores involucrados en procesos de decapado son principalmente:

- La siderurgia (laminación en caliente y en frío).
- Fabricación de tubos, alambres y cables.
- Galvanizados y tratamientos superficiales (cincados por inmersión “hot dipping”, electrolíticos, anodizados y otros procesos electrolíticos).

Los ácidos y bases de decapado y las concentraciones habitualmente utilizadas se aprecian en la Tabla 3.

Tabla 3***Ácidos y bases de decapado más importantes***

Ácido/Base	Concentración inicial (%)	Concentración final más habitual (%)	Temperatura de trabajo	Tipo de metal a decapar
HCl	33	18	20-30/80	Hierro y acero no aleado
H ₂ SO ₄	98	5-35	50-80	Hierro, acero no aleado, cobre y aluminio
HNO ₃	60	5-30	50	Cobre y acero inoxidable
HF	70	3-10	50	Acero inoxidable (como mezcla)
NaOH	50	10-20	60-70	Aluminio

Fuente: Cerveró (2009)

2.3. Conceptual

2.3.1. Solución de decapado de latón

La solución de decapado para aleaciones de latón es una solución incolora, la cual es de una concentración de 11 % en peso de ácido sulfúrico, la preparación de esta solución se inicia llenando con agua desionizada el recipiente destinado para el decapado, posteriormente se adiciona una cierta cantidad de ácido sulfúrico de grado industrial hasta alcanzar la concentración deseada; luego se procede a mezclar esta solución para que los componentes se integren adecuadamente.

En el proceso de decapado se sumergen en la solución decapante, por un tiempo, aquellas piezas de latón que tengan manchas superficiales hasta que estas desaparezcan. En este proceso la concentración de ácido sulfúrico en la solución decapante irá disminuyendo; es por ello que se le adicionará más ácido sulfúrico de grado industrial y se agitará nuevamente la solución teniendo en cuenta el incremento del volumen, al repetir este proceso por un tiempo prolongado la solución de decapado irá tornándose de un color azul oscuro, debido al incremento de sulfato de cobre en la solución. Así se llegará a un punto en el que la solución se tornará muy oscura y dado el incremento de volumen será muy riesgoso agregar más ácido sulfúrico de grado industrial para incrementar la concentración de ácido sulfúrico en la solución decapante, es entonces que se procede a realizar la neutralización y posterior descarga de la solución al sistema de alcantarillado.

En esta investigación se plantea la recuperación de la solución decapante en una solución sintética de decapado de latón, por medio de electrocoagulación, es decir, usar la electrocoagulación para incrementar nuevamente la concentración de ácido sulfúrico y reducir la concentración de los metales de cobre y zinc disueltos en la solución.

2.3.2. Electrocoagulación

Es un proceso electroquímico para el tratamiento de aguas mediante el cual las partículas contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso son desestabilizadas, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, estos electrodos pueden consumirse en el proceso tal es el caso de los electrodos de hierro y de aluminio que son los más utilizados, o pueden no consumirse, tal es el caso de los electrodos de acero inoxidable, platino y grafito a estos últimos se les denomina electrodos inertes. La electrocoagulación es un método muy efectivo en la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales además es un método seguro, accesible económicamente y de fácil realización. Sin embargo, los parámetros que influyen para obtener un buen tratamiento en aplicaciones específicas no son conocidos y requieren de investigación. Por lo tanto, la presente investigación busca encontrar los parámetros que influyen en el proceso de recuperación de la solución decapante en una solución sintética de decapado de latón, por medio de electrocoagulación.

2.3.3. Solución decapante sintética

La solución de decapado de latón es una solución de ácido sulfúrico, cuando esta solución es usada para decapar las piezas de latón hasta su máximo aprovechamiento adquiere una coloración azul oscura, debido al sulfato de cobre en la solución y tiene además poca concentración de ácido sulfúrico debido a que éste se fue consumiendo. Para la presente investigación, al no haber tenido acceso a una solución decapante usada para decapar piezas de latón, se ha optado por recrear esta solución mediante la preparación de una solución de ácido sulfúrico al 11 % en peso y disolver en dicha solución la cantidad necesaria de virutas de latón para que la solución resultante adquiera las características de una solución decapante real para el decapado de latón.

2.4. Definición de términos básicos

- a. **Ácido sulfúrico:** El ácido sulfúrico es un compuesto químico considerablemente corrosivo y su representación está dada por H_2SO_4 .
- b. **Ánodo:** Electrodo positivo de un balde o cuba electrolítica al cual se dirigen los aniones de la disolución.
- c. **Cátodo:** Electrodo negativo de un balde o cuba electrolítica al cual se dirigen los cationes de la disolución.
- d. **Coagulación:** Proceso por el cual una sustancia se transforma de un estado líquido a otro estado más o menos sólido.

- e. Cobre: Es un metal de color rojizo bermejo, brillante, dúctil, muy maleable, persistente a la corrosión y buen conductor de la electricidad y el calor.
- f. Decapar: Quitar las impurezas de la parte superficial de algún metal por medios físicos o químicos.
- g. Electrodo: Superficie de cualquier metal en contacto con un electrolito en donde ocurren reacciones de óxido-reducción.
- h. Electrolito: Material que disuelto completa o parcialmente en el agua produce una solución que conduce la corriente eléctrica.
- i. Latón: Aleación de cobre y zinc de color amarillo, dúctil y maleable, que al alisar la pieza brilla con facilidad; se emplea en la fabricación de recipientes y estructuras metálicas.
- j. pH: Coeficiente que indica el potencial de hidrogeno midiendo el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
- k. Zinc: Es un metal de color blanquecino azulado, de brillantez intensa, de estructura laminosa, muy frágil y oxidable con la humedad.

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

El proceso electrocoagulación permitirá la recuperación de la solución decapante y la reducción de las concentraciones de cobre y zinc en una solución sintética de decapado de latón con porcentajes de reducción mayores al 90%.

3.1.2. Hipótesis Específicas

- a) La caracterización fisicoquímica de la solución inicial permitirá conocer las concentraciones de H_2SO_4 , cobre y zinc.
- b) El voltaje, la distancia entre electrodos y el tiempo influirán determinantemente en el proceso de electrocoagulación.
- c) La caracterización fisicoquímica de la solución después de la electrocoagulación permitirá conocer las concentraciones de H_2SO_4 , cobre y zinc

3.2. Definición conceptual de variables

Las variables son las siguientes:

$$Y = f(X_1, X_2)$$

Variable Dependiente

Y = Proceso de recuperación de la solución decapante, reducción de cobre y zinc.

Variables Independientes

X₁ = Voltaje en el proceso de electrocoagulación, V

X₂ = Distancia entre electrodos en el proceso de electrocoagulación, cm

Variables intervinientes

- ❖ Tiempo del proceso de electrocoagulación.
- ❖ Eficiencia del proceso de electrocoagulación.
- ❖ Material de los electrodos.
- ❖ Espesor de los electrodos.

3.2.1. Operacionalización de variable

La operacionalización de las variables con sus respectivas dimensiones, indicadores y métodos se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4**Operacionalización de variables dependientes e independientes**

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
Y = Recuperación de la solución decapante, reducción de cobre y zinc.	Concentración final de H ₂ SO ₄ . Concentración final de Cu. Concentración final de Zn.	N (Normal) mg/L mg/L	Análisis volumétrico Análisis por absorción atómica
VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
X ₁ : Cantidad de voltaje en el proceso de electrocoagulación.	Voltaje.	V	Medición con instrumentos
X ₂ : Distribución de los electrodos en proceso de electrocoagulación	Distancia entre electrodos.	cm	

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

4.1.1. Tipo de la investigación

La presente investigación predictiva y aplicada se encuentra ubicada dentro del área de ingeniería y tecnología, en la subárea de ingeniería ambiental puesto que está centrada en encontrar mecanismos o estrategias que permitan lograr la recuperación de la solución de decapado y la disminución de la concentración de cobre y zinc disueltos en ella, con un diseño interpretativo experimental porque se basa en la manipulación de variables en condiciones controladas, replicando un fenómeno concreto y observando el grado en que la o las variables a manipular producen un efecto determinado, siendo de naturaleza cuantitativa porque implica procedimientos basados en la medición, con un nivel de profundización de estudio descriptiva pues se establece una descripción completa del fenómeno de electrocoagulación (Bernal, 2010).

4.1.2. Diseño de la investigación

La presente investigación, constó de las siguientes etapas:

A. Investigación bibliográfica

Esta investigación consistió en la revisión de temas similares referente al proceso de electrocoagulación, se seleccionó y criticó las informaciones recopilándolas en los antecedentes internacionales y nacionales, así como en libros de referencia.

B. Diseño y construcción de la celda de electrocoagulación

En base a la referencia bibliográfica se hizo el diseño y construcción de la celda de electrocoagulación, para tal fin se comparó los diferentes tipos de celda construidas en investigaciones similares.

C. Investigación experimental

Se hicieron corridas experimentales haciendo uso de la celda diseñada y construida, se usaron parámetros operacionales teniendo en cuenta la similitud de las investigaciones de referencia y se determinó las características fisicoquímicas de nuestras variables mediante el análisis cuantitativo de las muestras líquidas por absorción atómica.

D. Análisis estadístico

Se procesaron los resultados de las corridas experimentales en los softwares Excel y Minitab con el fin de verificar las hipótesis y también contrastar los resultados con investigaciones similares.

E. Obtención de resultado

Se realizaron los cálculos para su posterior discusión de resultados, obteniéndose las conclusiones de la investigación.

4.2. Método de investigación

Esta investigación es de tipo observacional y experimental fundamentado en el método analítico, metodológico, hipotético y deductivo.

4.3. Población y muestra

La población no es aplicable en la presente investigación. La muestra es un volumen de 750 mililitros, ya que este es el volumen con el cual se trabajó en la celda de electrocoagulación.

4.4. Lugar del estudio y periodo desarrollado

4.4.1. Lugar de estudio

La presente investigación y los análisis de las muestras iniciales y finales fueron realizados en las instalaciones del laboratorio Envirotest S.A.C. Ubicado en Calle B Mz. C lote. 40 Urb. Panamericana, San Martin de Porres, Lima (laboratorio externo).

4.4.2. Periodo de desarrollado

La presente investigación se inició en noviembre del 2020 y concluyó el día 30 de abril del 2021.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Técnica para la recolección de información

Las técnicas usadas para la recolección de información en esta investigación fueron las siguientes:

- ❖ Técnica experimental, observacional y cuantitativo de evaluación y determinación de la densidad de corriente en el proceso de electrocoagulación de una solución sintética de decapado de latón.
- ❖ Técnica observacional y cuantitativo para la determinación de la distancia entre electrodos en el proceso de electrocoagulación de una solución sintética de decapado de latón.

- **Análisis del proceso de electrocoagulación**

El análisis del proceso de electrocoagulación consistió de la revisión bibliográfica, la información encontrada referente a electrocoagulación fue abundante, sin embargo la mayoría estaba enfocada en el uso de la electrocoagulación al tratamiento de aguas residuales de diferentes industrias y fueron pocas las investigaciones encontradas que utilizaron la electrocoagulación al tratamiento de soluciones ácidas con presencia de metales disueltos, sin embargo las investigaciones estudiadas nos dieron luces para la elección del material de los electrodos, pues permitieron entender que para realizar el tratamiento de este tipo de soluciones se tienen que elegir electrodos resistentes a este ataque. Los

electrodos que resisten el ataque ácido reciben el nombre de electrodos inertes y pueden ser de acero inoxidable, de platino o de grafito. En esta investigación se optó por usar electrodos de acero inoxidable, por su fácil accesibilidad.

- **Diseño experimental**

El diseño experimental nos permitió identificar y cuantificar el efecto que tienen algunas variables vinculadas a las causas de la electrocoagulación, las mismas que se han manipulado premeditadamente para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental fue fundamental para determinar con un grado de confianza predefinido la relación causa-efecto entre las variables especificadas, en el proceso de electrocoagulación que se estudió, para ello fue necesario establecer las siguientes pautas: qué variables manipular, de qué manera y en qué orden se manipularon dichas variables y cuantas veces se repitieron los experimentos.

En estadística, un experimento factorial completo es un experimento cuyo diseño consta de dos o más factores, cada uno de los cuales, con distintos valores o niveles, cuyas unidades experimentales cubren todas las posibles combinaciones de esos niveles en todos los factores. Este tipo de experimentos permiten el estudio del efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable (García, M. et al., 2016, p.43).

Se realizó el diseño experimental con el diseño factorial para analizar los efectos de las variables mencionadas durante el estudio del proceso de electrocoagulación.

Esto permitió visualizar la influencia de cada una de ellas sobre la electrocoagulación de la solución sintética de decapado de latón. La estructura del diseño de experimento usa una variable en tres niveles (bajo medio y alto) y la otra variable en dos niveles (bajo y alto). Las tablas 5 y 6 muestran las corridas experimentales que se realizaron. Cabe señalar que para cada corrida experimental se tomó muestras a diferentes tiempos y de esa manera se evaluó el comportamiento de las variables independientes a través del tiempo.

Tabla 5***Variables, Factores y Niveles del Diseño Experimental***

Factor	Asignación	Nivel inferior	Nivel superior
Voltaje (V)	X ₁	5	20
Distancia entre los electrodos (cm)	X ₂	1.3	2.5

Tabla 6***Diseño Experimental de la investigación***

N ° de Experiencias	Variable		Vector de respuesta		
	X ₁ (cm)	X ₂ (V)	% de reducción de cobre (mg/L)	% de reducción de zinc (mg/L)	% de incremento de H ₂ SO ₄
1	1,3	5			
2	2,5	5			
3	1,3	20			
4	2,5	20			

4.5.2. Instrumento para la recolección de información**A. Equipos:**

- ❖ Espectrómetro de Absorción Atómica (Perkin Elmer Modelo PinAAcle 900)

B. Instrumentos:

- ❖ Fuente de corriente continua regulable (Sunshine Modelo P-3005d)
- ❖ Balanza analítica (Mettler Toledo Modelo AG285)
- ❖ Medidor de pH (Pometer Modelo PH-009)
- ❖ Agitador Magnético (Eurolab Modelo SH-2)

A. Procedimiento experimental

Preparación de la solución sintética de decapado de latón: La solución sintética de decapado de latón tenía concentraciones arbitrarias de cobre, zinc y ácido sulfúrico ya que en la industria este tipo de soluciones tienen concentraciones variantes de estos tres componentes, por lo tanto, se preparó la solución sintética de decapado de latón usando 60 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 65 g de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 60 mL H_2SO_4 disueltos en un volumen de 9 litros de agua desionizada. Las características de los reactivos químicos utilizados en la preparación de la solución decapante se muestran en la Tabla 7. A continuación se muestran las concentraciones teóricas de cobre, zinc y de ácido sulfúrico que tenía la solución sintética de decapado de latón:

$$\text{Masa de Cu} = 60 \text{ g de } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \times \frac{63,546}{249,68} \times 0,99 = 14,965 \text{ g de Cu}$$

$$\text{Concentración de Cobre} = \frac{14965 \text{ mg}}{9\text{L}} = 1662 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de Cu}$$

$$\text{Masa de Zn} = 65 \text{ g de } \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \times 0,2187 = 14,215 \text{ g de Zn}$$

$$\text{Concentración de Zn} = \frac{14215 \text{ mg}}{9L} = 1579 \frac{\text{mg}}{L} \text{ de Zn}$$

$$\text{Masa de H}_2\text{SO}_4 = 60 \text{ mL de H}_2\text{SO}_4 \times 1,84 \times 0,98 = 108,192 \text{ g de H}_2\text{SO}_4$$

$$\text{Concentración de H}_2\text{SO}_4 = \frac{\frac{108,192 \text{ g}}{49 \frac{\text{g}}{\text{eq g}}}}{9L} = 0.245N$$

Tabla 7

Reactivos utilizados para la preparación de la solución decapante

	Ácido sulfúrico	Sulfato de cobre	Sulfato de Zinc
Fórmula	H ₂ SO ₄	CuSO ₄ ·5H ₂ O	ZnSO ₄ ·7H ₂ O
Densidad (g/mL)	1,84	---	---
Pureza	98 %	99 ^(*) %	21,87 ^(**) %
Peso Molecular (g/mol)	98,00	249,68	287,56

(*) Porcentaje en peso de CuSO₄·5H₂O, (**) Porcentaje en peso de Zn

Figura 8

Sales de sulfato de cobre y sulfato de zinc usadas para preparar la solución sintética de decapado de latón



Figura 9

Preparación de la solución sintética de decapado de latón



- **Valoración de la solución sintética de decapado de latón:** Para la valoración de la solución sintética de decapado de latón primeramente se valoró la solución de hidróxido de sodio al 0,1N a partir de biftalato ácido de potasio por triplicado, por lo tanto, se pesó lo más exacto posible tres pesos de biftalato ácido de potasio y posteriormente se hizo la valoración de usando una bureta de 50mL y un potenciómetro, la expresión para el cálculo de la normalidad de la solución de hidróxido de sodio se muestra a continuación:

La ecuación para el cálculo de la normalidad del hidróxido de sodio está dada por la siguiente ecuación:

$$N_{NaOH} = \frac{W_{\text{biftalato ácido de potasio}} \times 1000 \times 100}{V_{NaOH} \times 204,22 \times \text{pureza del biftalato ácido de potasio}}$$

Cálculo de la normalidad del hidróxido de sodio a partir de biftalato ácido de potasio:

$$N_{NaOH} = \frac{1,0022 \times 1000 \times 100}{47,0 \times 204,22 \times 100} = 0,1044 N$$

$$N_{NaOH} = \frac{1,0029 \times 1000 \times 100}{47,5 \times 204,22 \times 100} = 0,1034 N$$

$$N_{NaOH} = \frac{1,0031 \times 1000 \times 100}{47,7 \times 204,22 \times 100} = 0,1029 N$$

La normalidad del hidróxido de sodio estaría dada por el promedio:

$$N_{NaOH} = \frac{0,1044 + 0,1034 + 0,1029}{3} = 0,1036 N$$

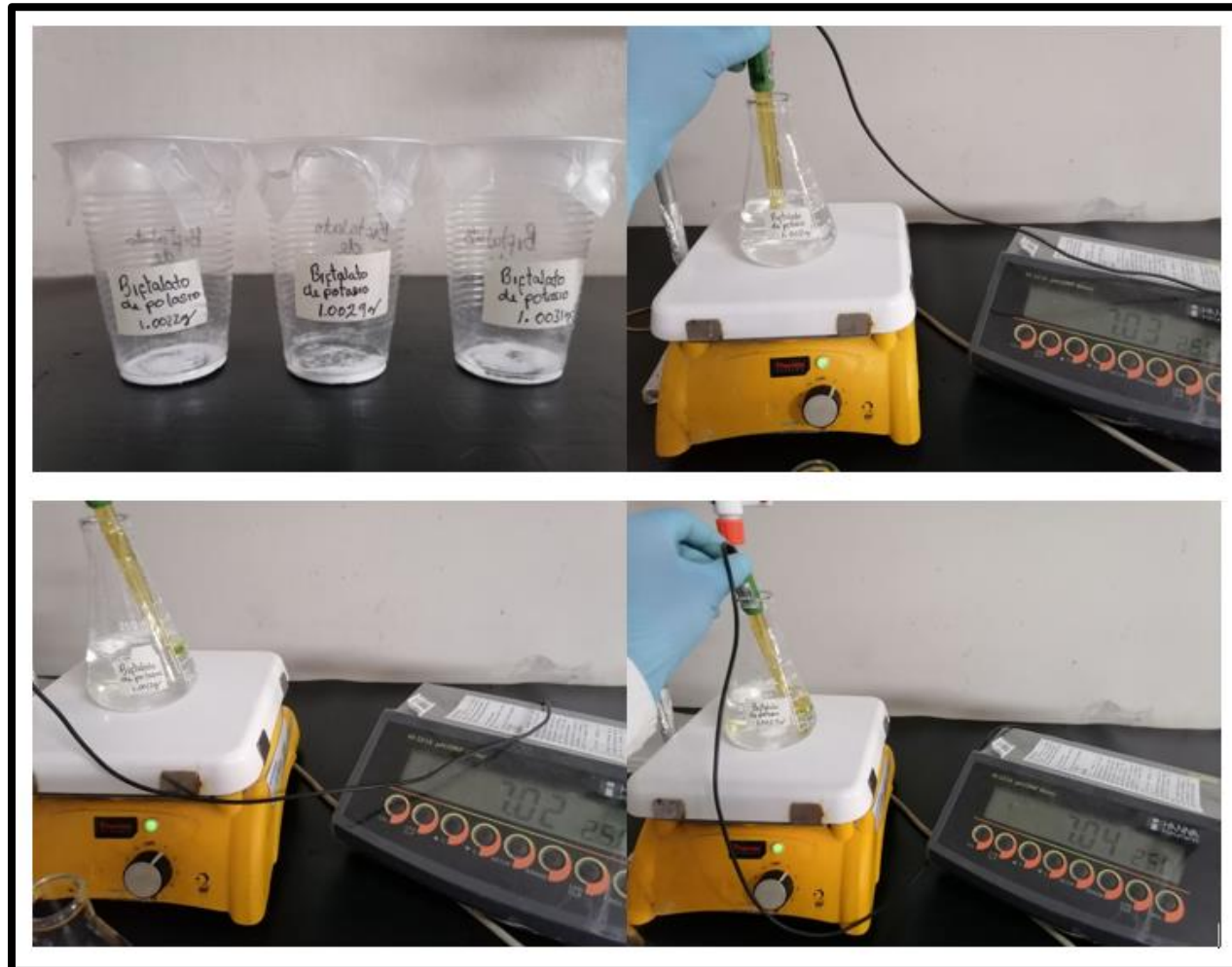
Figura 10

Pesaje y preparación de la solución de hidróxido de sodio



Figura 11

Pesaje del ftalato de potasio y valoración de la solución de hidróxido de sodio



- **Construcción de la celda de electrocoagulación:** En esta etapa de la investigación se hizo uso de la celda construida para el proceso de electrocoagulación, las dimensiones de la celda fueron tomadas de una la investigación de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea (Garcés y Ruiz, 2007) tal como se muestra en la Figura 12. Esta celda de electrocoagulación posee tres zonas: zona de sedimentación, es la zona donde se acumulan los sedimentos formados, ocupa 1/4 del volumen total, zona de reacciones, es la zona ocupada por los electrodos y donde ocurren las reacciones, ocupa 2/4 del volumen total y la zona de flotación que es la zona donde se acumulan las espumas formadas, ocupa 1/4 del volumen total. A manera de especificaciones adicionales la zona de flotación tiene una compuerta para desalojar las espumas formadas, la zona de reacciones tiene instalada una válvula para la toma de muestras, así mismo la zona de sedimentación tiene una instalada una válvula para desalojar los sedimentos formados.

Figura 12

Dimensiones de la celda de electrocoagulación

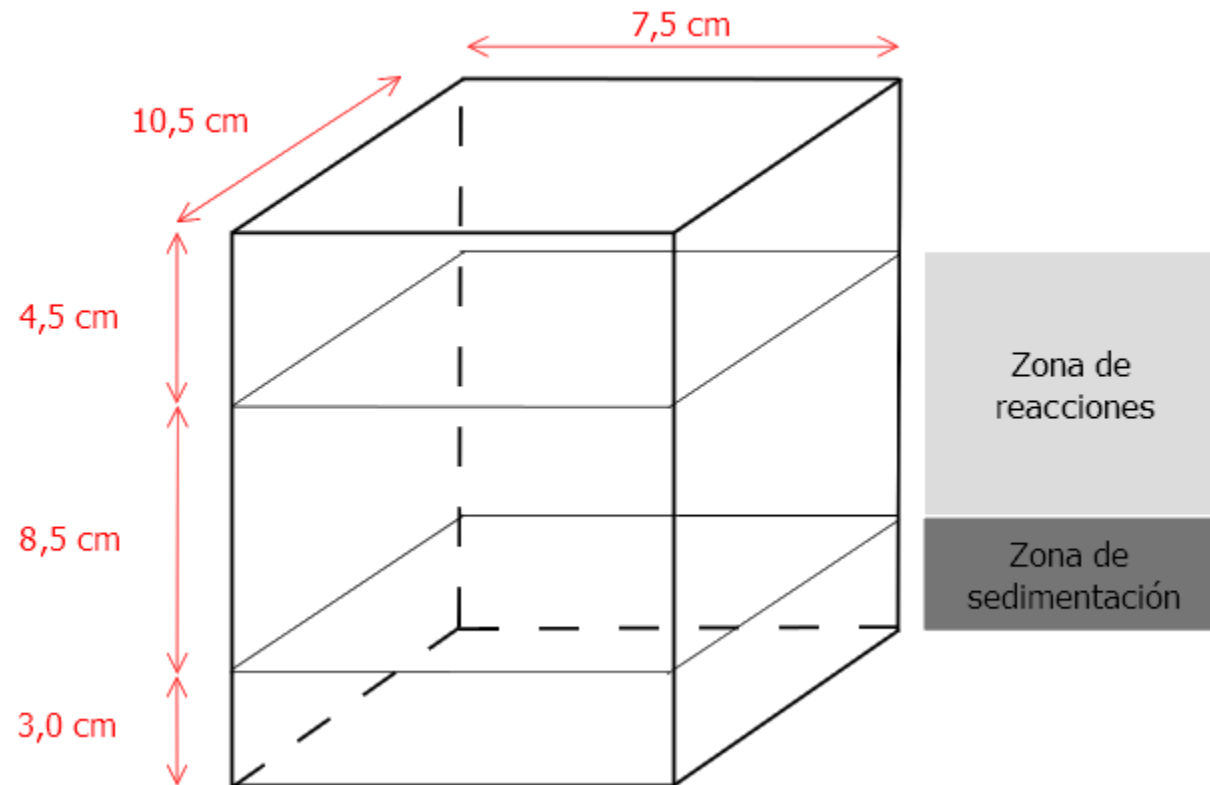


Figura 13

Celda de electrocoagulación usada en la investigación

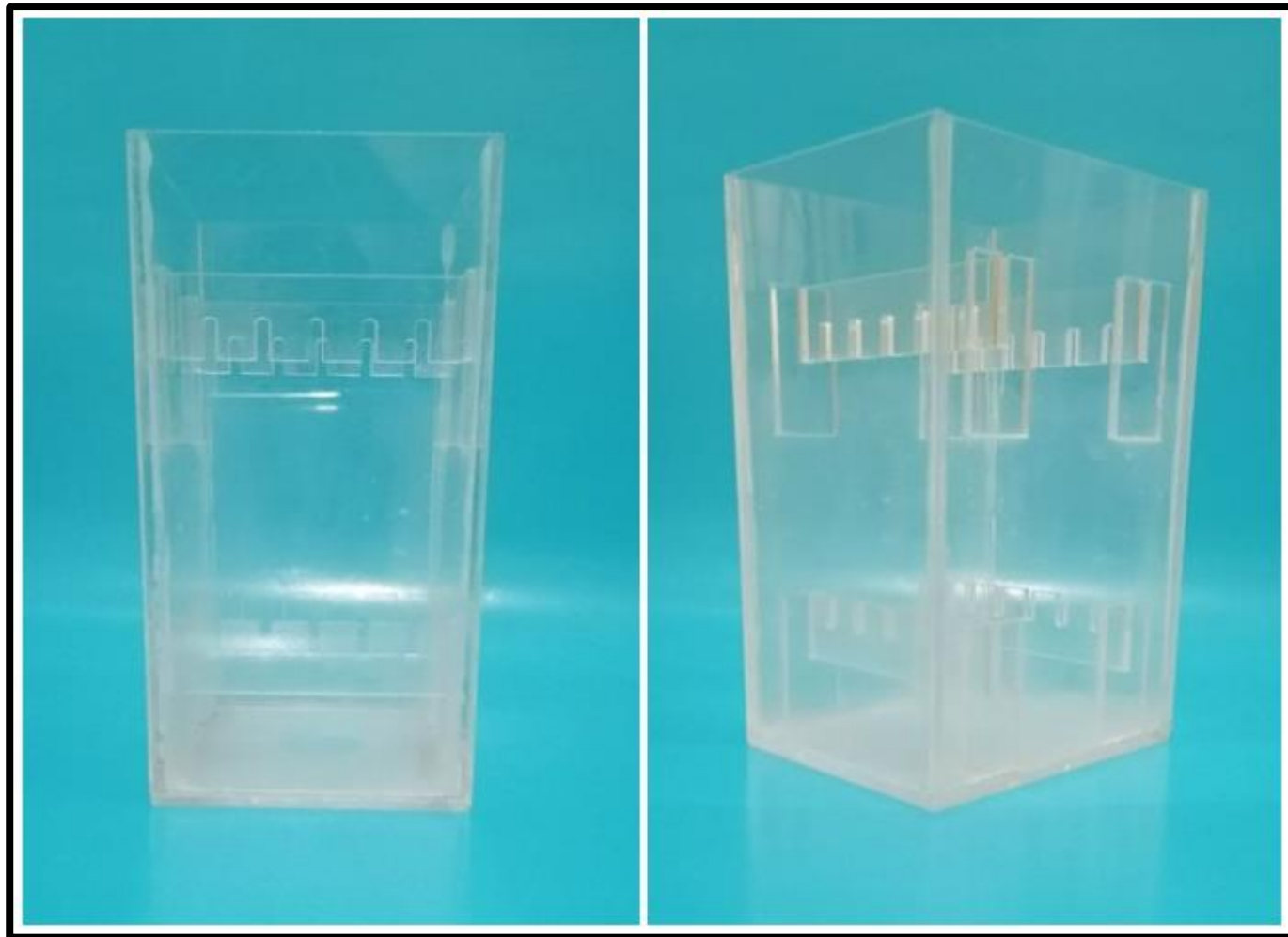
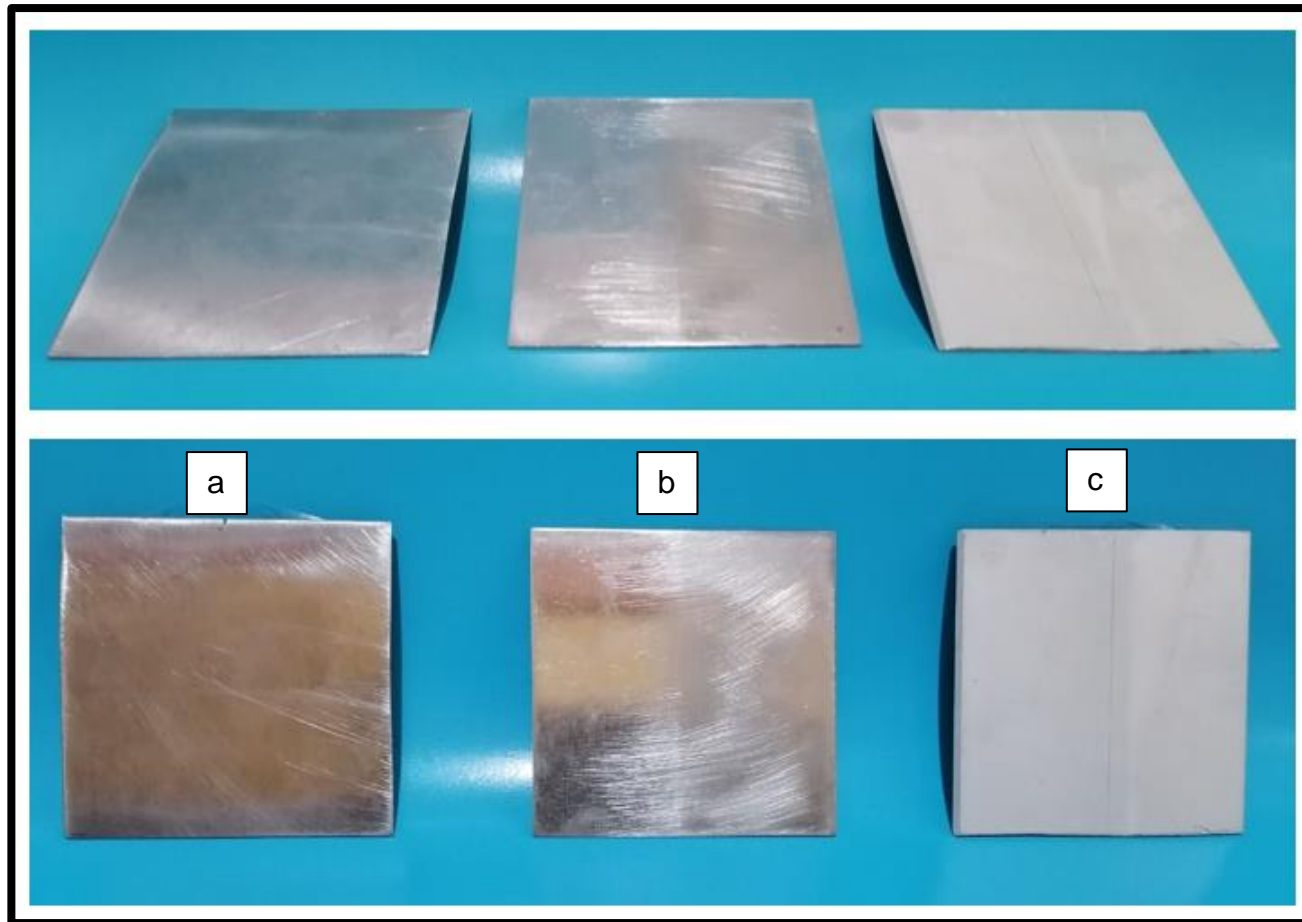


Figura 14

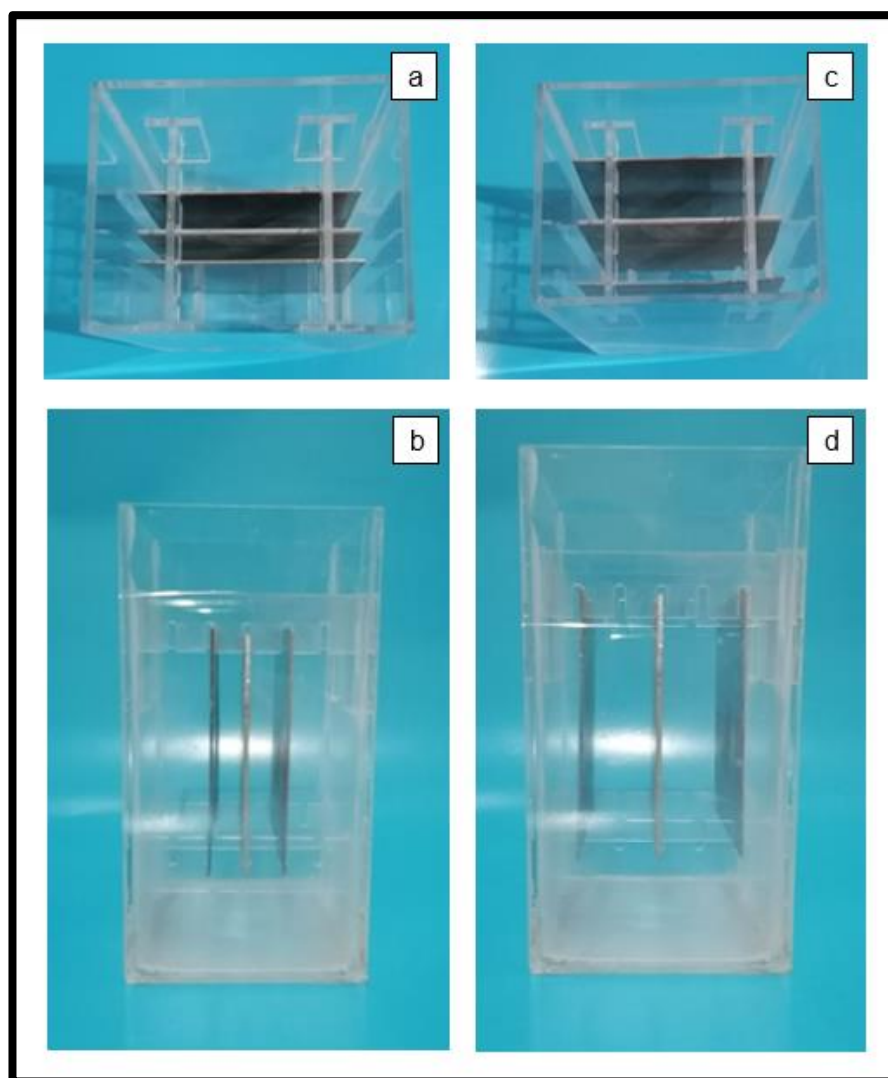
Electrodos usados en la investigación



Nota. (a) y (b): electrodos de acero inoxidable, (c): electrodo de aluminio

Figura 15

Celda de electrocoagulación acondicionada de electrodos



Nota. (a): Vista superior de electrodos separados a 1,3 cm (b): Vista lateral de electrodos separados a 1,3 cm (c) Vista superior de electrodos separados a 2,5 cm (d) Vista lateral de electrodos separados a 2,5 cm

Se utilizaron electrodos de 3 mm de espesor y que ocuparon la zona de reacciones por lo tanto estas tenían 8,5 cm de largo y 8,5 cm de ancho. Se determinó el número de electrodos en base a un distanciamiento entre electrodos de 1,3 cm y un distanciamiento de los últimos electrodos respecto de la pared de la celda de 1 cm mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Número de electodos} = \frac{\text{ancho de celda} - 2 \times \text{dist. electrodos cara lateral}}{\text{distacia máxima entre electrodos} + \text{espesor}}$$

$$\text{Número de electodos} = \frac{75 - 2 \times 10}{13 + 3} = 3,44 = 3$$

De esta manera es que se usaron un electrodo como ánodo y dos electrodos como cátodo, los tres electrodos se conectaron formando un arreglo en paralelo, es decir que los ánodos y cátodos se colocaron de forma intercalada.

- **Realización de cada corrida experimental:** Para cada corrida experimental se llenó la celda de electrocoagulación con 750 mL de la solución sintética de decapado de latón, luego se prendió la fuente de alimentación de corriente y el agitador magnético y se realizó el tratamiento por un tiempo de 120 minutos como se observa en las Figuras 17 y Figura 18, posteriormente se tomó una muestra con un volumen de 25 mL tal como se observa en la Figura 19, para el análisis de cobre, zinc y la concentración de ácido sulfúrico, no fue necesario preservar las muestras ya que su análisis se realizó al poco tiempo. El diagrama del proceso de electrocoagulación realizado en esta investigación se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Diagrama del proceso de electrocoagulación de la solución sintética de decapado de latón

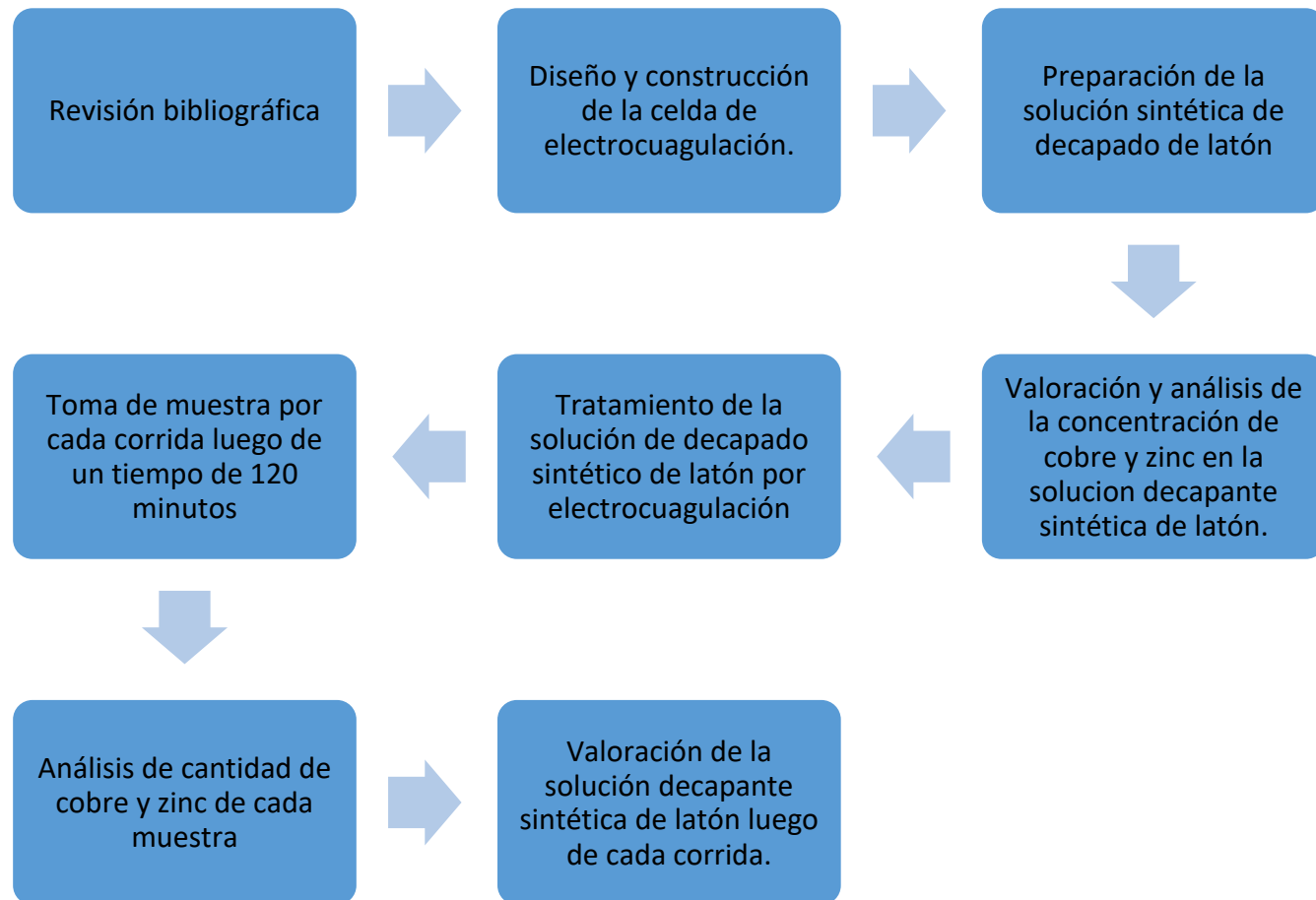
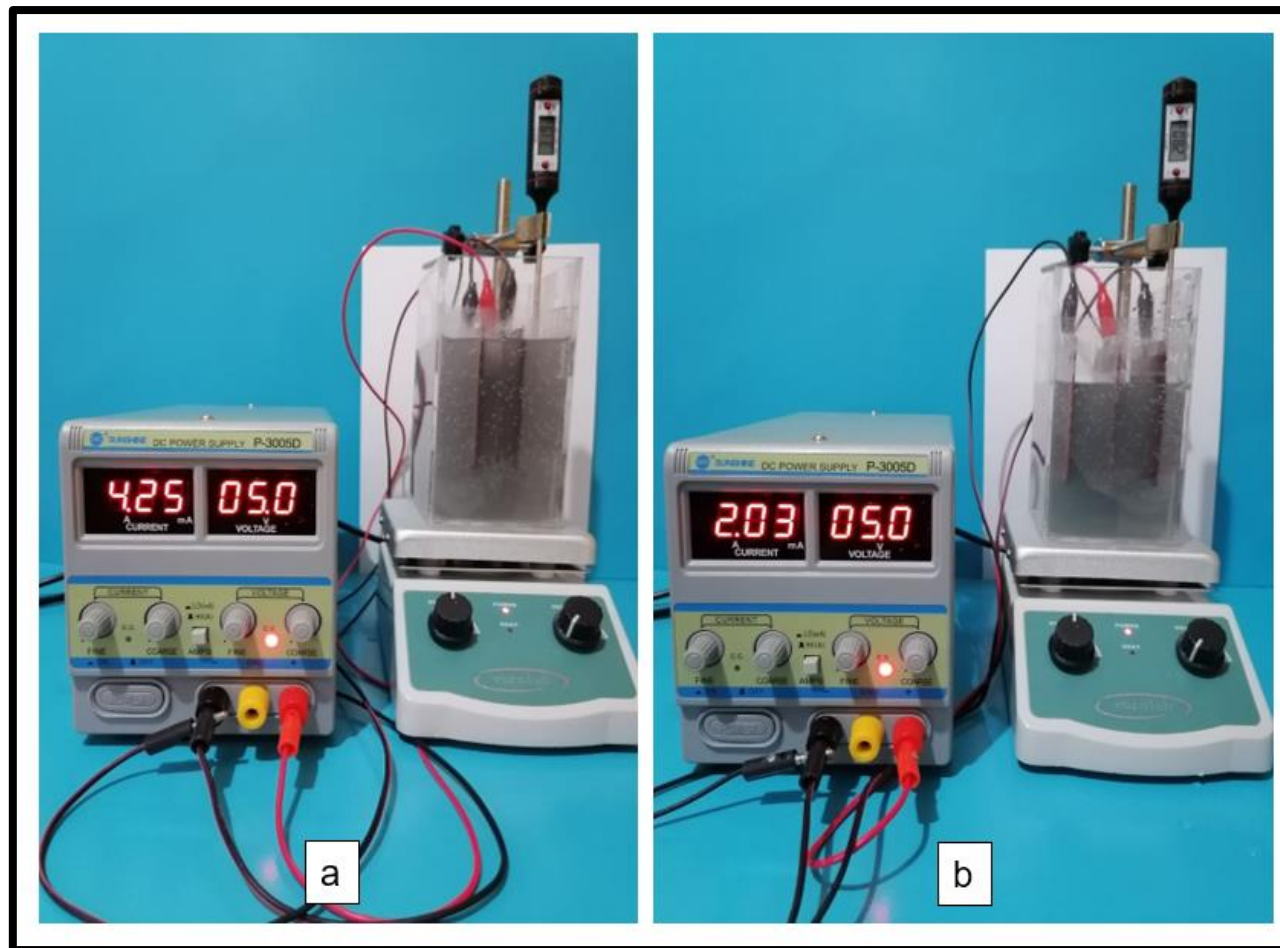


Figura 17

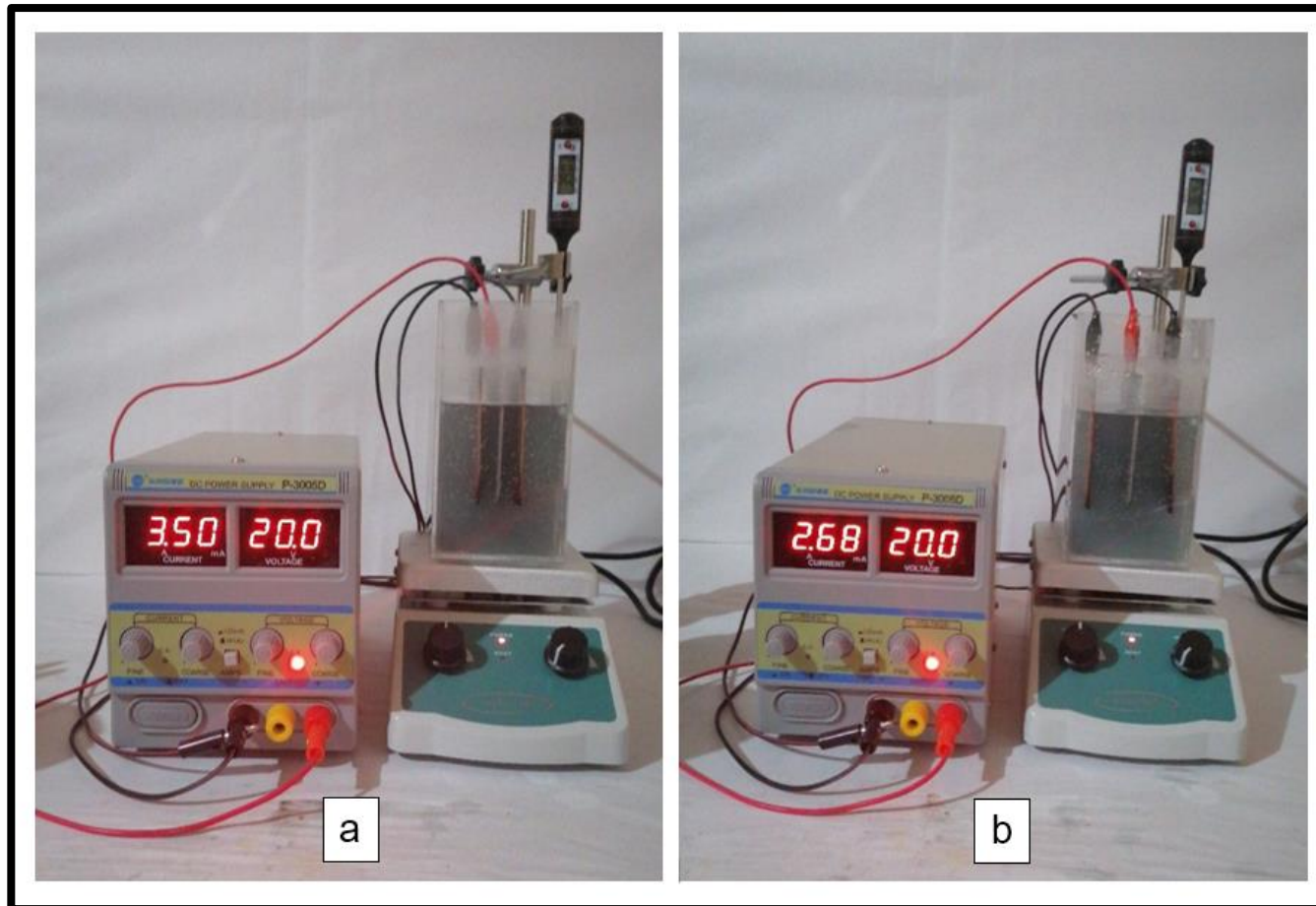
Corridas experimentales a 5 voltios



Nota. (a): Separación entre electrodos de 1,3 cm (b): Separación entre electrodos de 2,5 cm.

Figura 18

Corridas experimentales a 20 voltios



Nota. (a): Separación entre electrodos de 1,3 cm (b): Separación entre electrodos de 2,5 cm.

Figura 19

Muestra de las corridas experimentales y de la solución sintética



- **Análisis de las muestras finales**

Se realizó la valoración del ácido sulfúrico con el hidróxido de sodio como se observa en la Figura 20 y se calculó la normalidad del ácido sulfúrico con la siguiente ecuación:

$$N H_2SO_4 = \frac{N NaOH \times V NaOH}{V H_2SO_4}$$

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Solución sintética de decapado de latón:

$$N H_2SO_4 = \frac{0,1036 \times 12,5 \text{ ml}}{5 \text{ ml}} = 0,259N$$

5 voltios y 1,3 cm

$$N H_2SO_4 = \frac{0,1036 \times 13 \text{ ml}}{5 \text{ ml}} = 0,269N$$

5 voltios y 2,5 cm

$$N H_2SO_4 = \frac{0,1036 \times 13,3 \text{ ml}}{5 \text{ ml}} = 0,276N$$

20 voltios y 1,3 cm

$$N H_2SO_4 = \frac{0,1036 \times 13,5 \text{ ml}}{5 \text{ ml}} = 0,280N$$

20 voltios y 2,5 cm

$$N H_2SO_4 = \frac{0,1036 \times 13,8 \text{ ml}}{5 \text{ ml}} = 0,286N$$

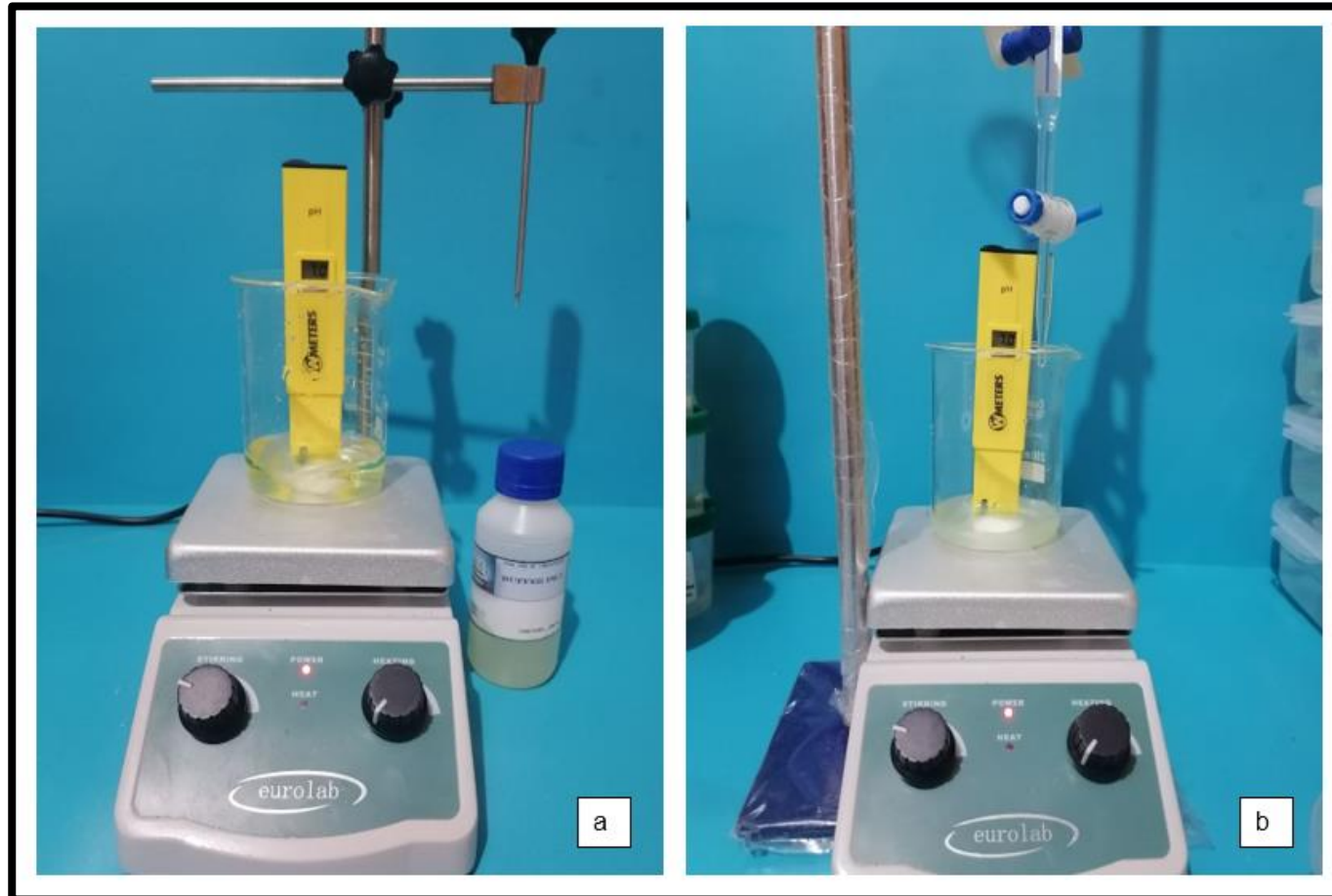
Para el análisis de la concentración de cobre y zinc se utilizó el equipo espectrómetro de Absorción Atómica PinAAcle 900 de Perkin Elmer como se observa en la Figura 21, previo al análisis de las muestras, se les hizo una dilución para que el valor de su concentración se encuentre dentro del rango de la curva de calibración del equipo, luego se tomó 50 mL de esta dilución y se adicionaron 5 mL de HCl y 5 mL de HNO₃ y se procedió a digestar las muestras hasta alcanzar un volumen aproximado de 25mL, luego se transfirió este volumen a otra fiola de 50mL y se enrazó con agua desionizada para su lectura. La muestra de la solución sintética de decapado de latón antes de la electrocoagulación requirió de más de una dilución para que el valor de su concentración se encuentre dentro del rango de la curva de calibración del equipo tal como se muestra en la Tabla 8:

Tabla 8
Diluciones, lecturas y concentraciones de cobre y zinc en las muestras

Muestra	Lectura de Cu (mg/L)	Lectura de Zn (mg/L)	Concentración de Cu (mg/L)	Concentración de Zn (mg/L)
Inicio				
1/50 (x50) 5/100 (x20)	1,691	1,535	1691,0	1535,0
1				
1/50 (x50)	9,033	0,827	451,7	827,0
2				
1/50 (x50)	7,882	0,933	394,1	933,0
3				
1/50 (x50)	7,436	0,944	371,8	944,0
4				
1/50 (x50)	8,865	0,966	443,3	966,0

Figura 20

Valoración del ácido sulfúrico en las muestras



Nota. (a): Calibración del medidor de pH (b): valoración de una muestra final del proceso.

Figura 21

Equipo de Absorción Atómica usado para la lectura de Cobre y Zinc en las muestras



4.6. Análisis y procesamiento de datos

Al ser nuestra investigación experimental, se realizaron un conjunto de actividades metódicas y técnicas para obtener la información y los datos necesarios para el proceso de electrocoagulación de una solución sintética de decapado de latón, para el análisis y el procesamiento de datos se usó un modelo clásico independiente ya que esta investigación no buscaba la optimización del proceso de electrocoagulación, sino explorar su viabilidad para la reducción de la concentraciones de cobre y zinc además de la recuperación de la solución de decapado de latón con el incremento de la concentración de ácido sulfúrico.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

En el presente trabajo de investigación, no aplica.

5.2. Resultados inferenciales

Referente a los resultados inferenciales se realizó el análisis factorial mediante el software Minitab versión 18 a las variables y se encontró que la distancia y el voltaje son variables significativas para la variable concentración de ácido sulfúrico y ello permitió que se encontrara una ecuación que relacione a estas variables a continuación en las tablas 9, 10 y 11 se muestran los coeficientes, el coeficiente de determinación y el análisis de varianza respectivamente, también en las figuras 22, 23 y 24 se muestran la gráfica normal de efectos estandarizados, el diagrama de Pareto y la gráfica de residuales respectivamente.

Tabla 9

Coeficientes codificados.

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		7.2394	0.0965	75.00	0.008	
Distancia	2.5097	1.2548	0.0965	13.00	0.049	1.00
Voltaje	4.0541	2.0270	0.0965	21.00	0.030	1.00

Tabla 10

Resumen del modelo.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado(pred)
0.193050	99.84%	99.51%	97.38%

Tabla 11***Análisis de varianza.***

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	2	22.7337	11.3669	305.00	0.040
Lineal	2	22.7337	11.3669	305.00	0.040
Distancia	1	6.2984	6.2984	169.00	0.049
Voltaje	1	16.4354	16.4354	441.00	0.030
Error	1	0.0373	0.0373		
Total	3	22.7710			

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Ácido} = -0.113 + 2.091\text{Distancia} + 0.2703\text{Voltaje}$$

Figura 22

Gráfica normal de efectos estandarizados

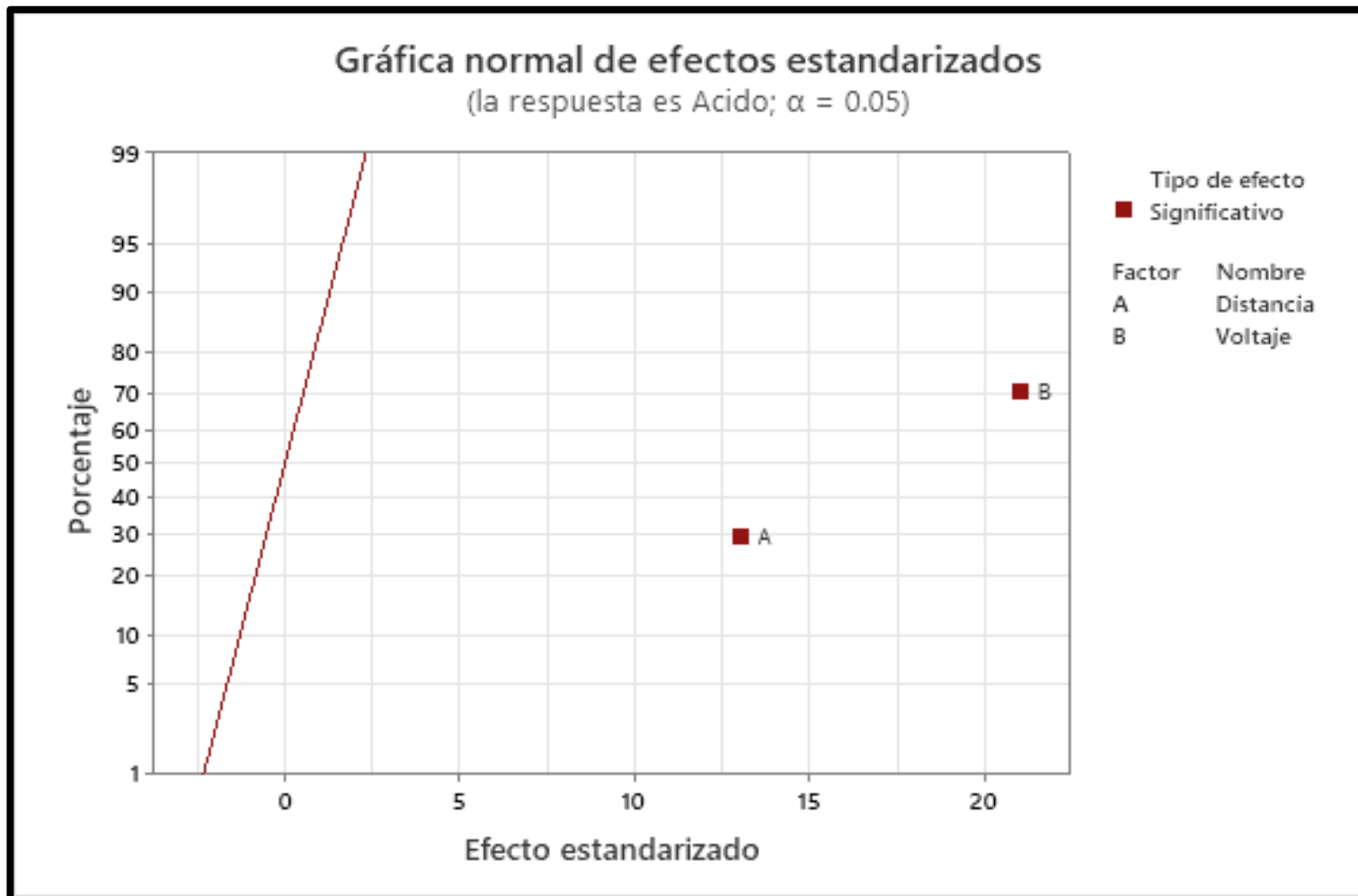


Figura 23

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados

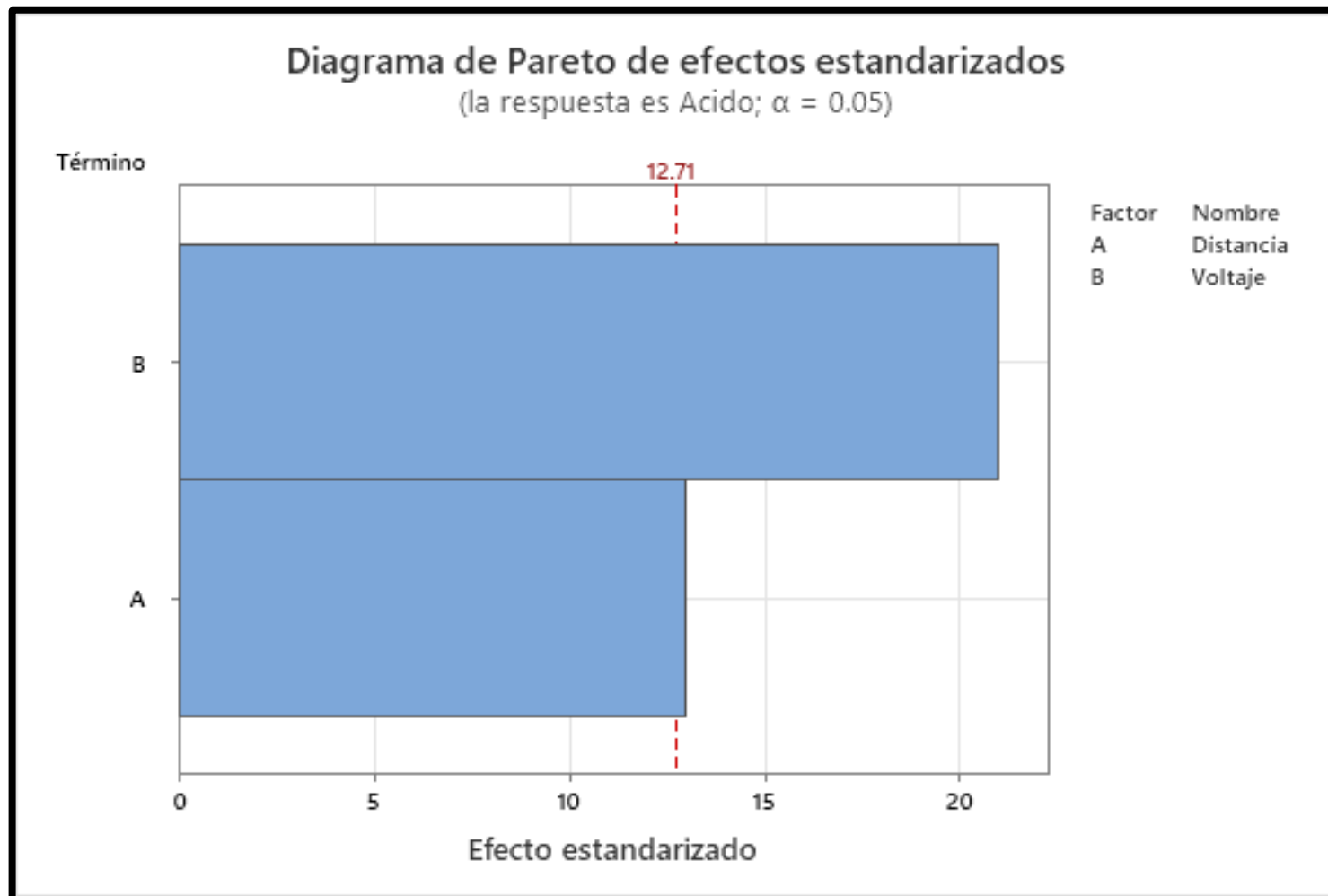
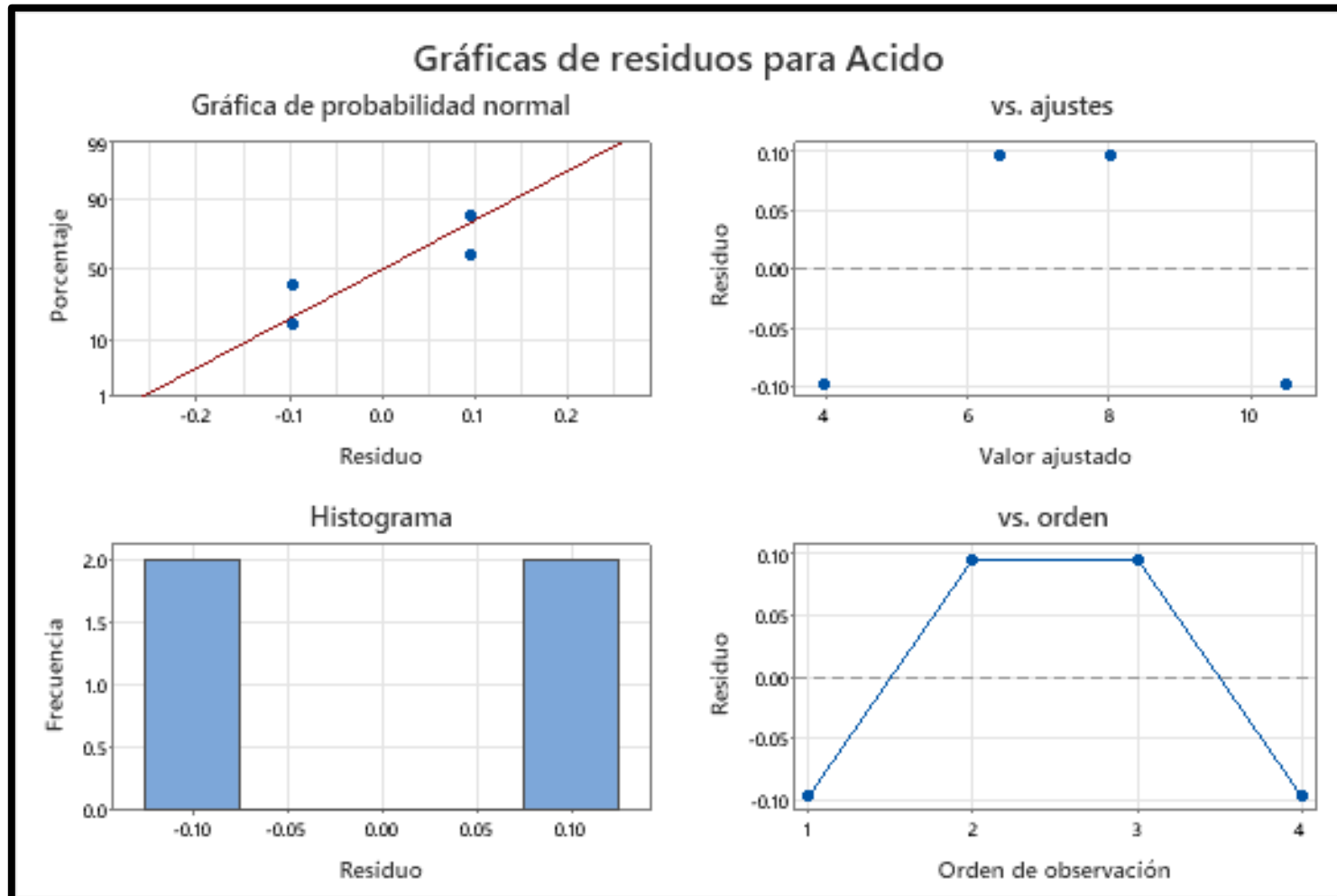


Figura 24

Grafica de residuos para ácido sulfúrico



5.3. Otro tipo de resultados estadísticos de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis

Los resultados obtenidos del análisis por absorción atómica fueron de 1691,0 mg/L para el cobre 1535,0 mg/L para el zinc en la solución sintética de decapado de latón, luego el análisis de las muestra de cada corrida experimental, por el mismo análisis, arrojaron concentraciones de 451,7 mg/L, 394,1 mg/L, 371,8 mg/L y 443,3 mg/L de cobre para las corridas 1, 2, 3 y 4 respectivamente y concentraciones de 827,0 mg/L, 933,0 mg/L, 944,0 mg/L y 966,0 mg/L de zinc para las corridas 1, 2, 3 y 4 respectivamente para el análisis de la concentración de ácido se usó el método volumétrico se obtuvo una concentración de 0,259 N de concentración de ácido sulfúrico en la muestra de lo solución sintética de decapado de latón mientras que en el análisis de las muestra se obtuvieron concentraciones de 0,265 N, 0,269 N, 0,274 N y 0,282 N para las corridas 1, 2, 3 y 4 respectivamente estos resultado fueron tabulado en la tabla 12 y graficados en las gráficas 25, 26, 27, también se realizó el cálculo de los porcentajes de reducción de cobre y zinc así como el porcentaje de incremento del ácido sulfúrico y se obtuvieron 73,29 %, 76,69 %, 78,01 % y 73,79 % de reducción de cobre para las corridas 1, 2, 3 y 4 respectivamente y 46,12 %, 39,22 %, 38,50 % y 37,07 %, de reducción de zinc para las corridas 1, 2, 3 y 4 respectivamente y 3,86 %, 6,56 %, 8,11 % y 10,42 % de incremento de ácido para las corridas 1, 2, 3 y 4 respectivamente, estos resultado fueron tabulado en la tabla 13 y graficados en las gráficas 28, 29 y 30 .

Tabla 12**Resultados de la investigación**

N ° de Experiencias	Variable		Vector de respuesta		
	X ₁ (cm)	X ₂ (V)	Concentración de cobre (mg/L)	Concentración de zinc (mg/L)	Concentración de H ₂ SO ₄
Inicio			1691,0	1535,0	0,259
1	1,3	5	451,7	827,0	0,265
2	2,5	5	394,1	933,0	0,269
3	1,3	20	371,8	944,0	0,274
4	2,5	20	443,3	966,0	0,282

Tabla 13***Porcentajes de reducción de cobre y zinc y porcentaje de incremento de ácido sulfúrico***

N ° de Experiencias	Variable		Vector de respuesta		
	X ₁ (cm)	X ₂ (V)	% de reducción de cobre (mg/L)	% de reducción de zinc (mg/L)	% de incremento de H ₂ SO ₄
1	1,3	5	73,29	46,12	3,86
2	2,5	5	76,69	39,22	6,56
3	1,3	20	78,01	38,50	8,11
4	2,5	20	73,79	37,07	10,42

Figura 25

Concentración de cobre en cada muestra

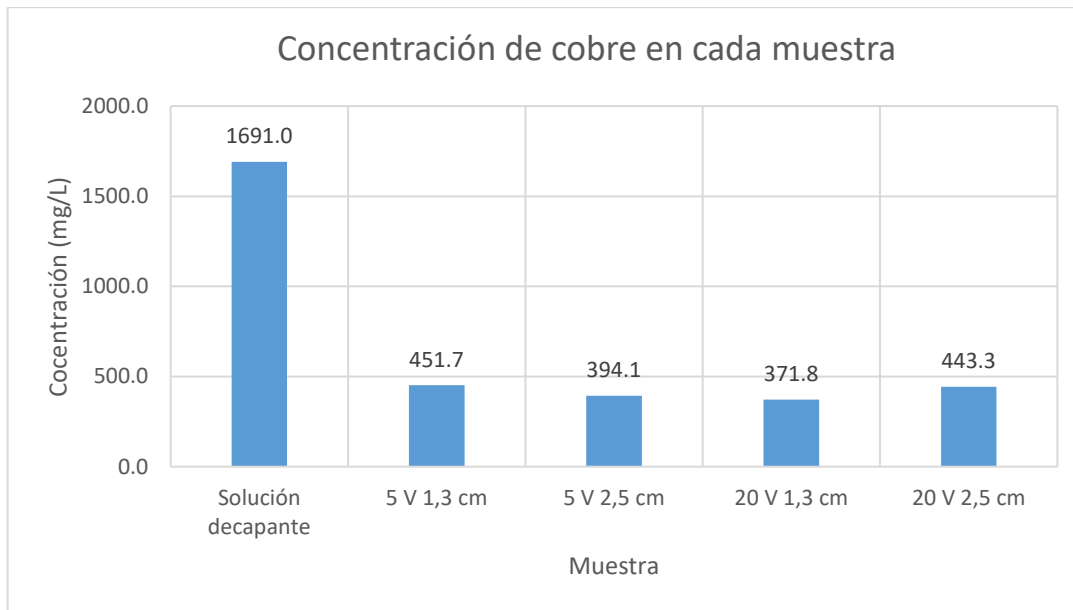


Figura 26

Concentración de zinc en cada muestra

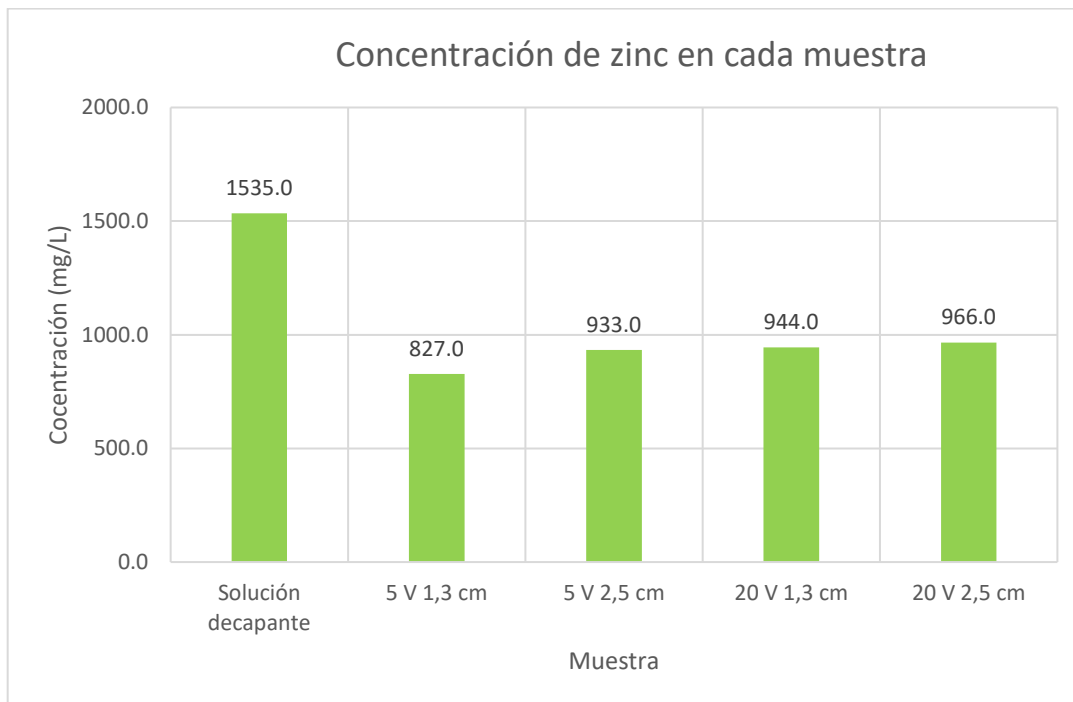


Figura 27

Concentración de ácido sulfúrico en cada muestra

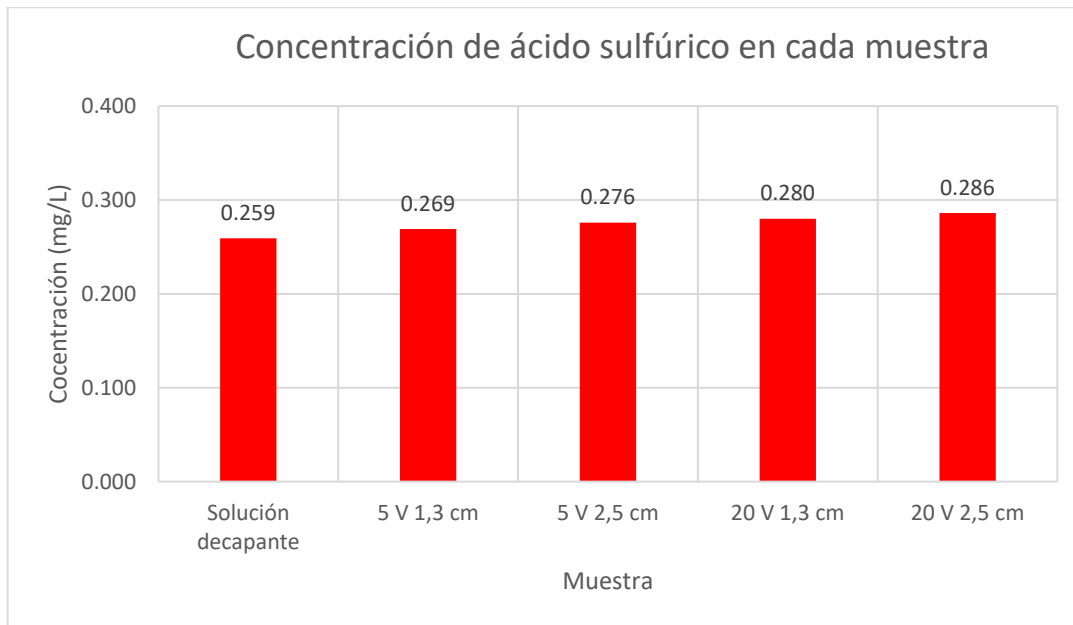


Figura 28

Porcentaje de reducción de cobre en cada corrida

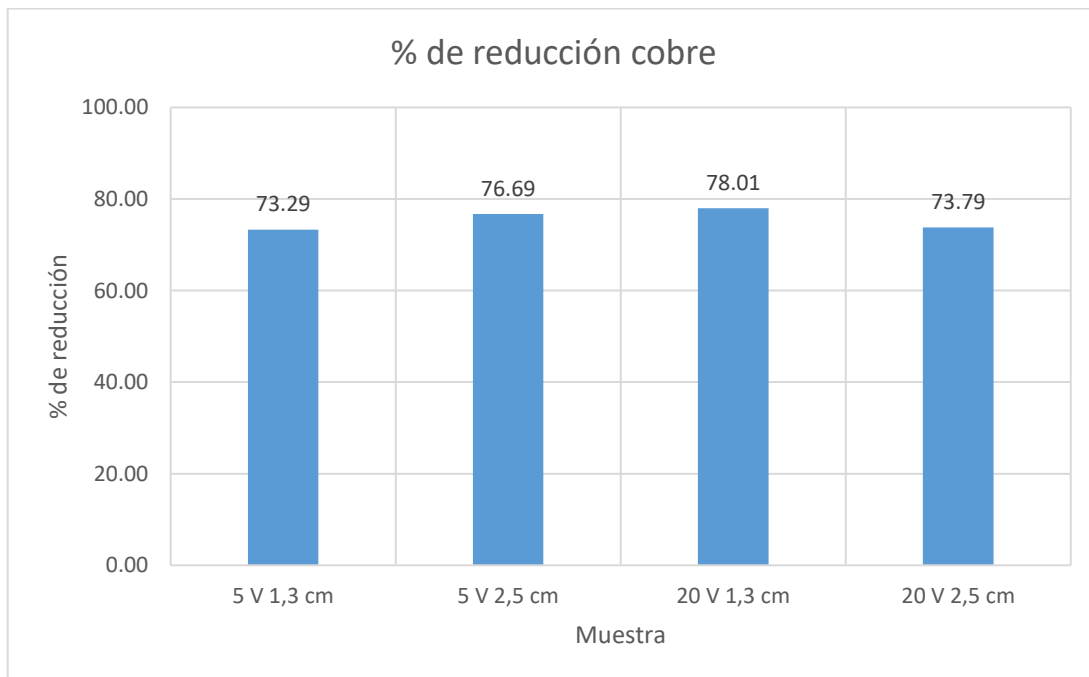


Figura 29

Porcentaje de reducción de zinc en cada corrida

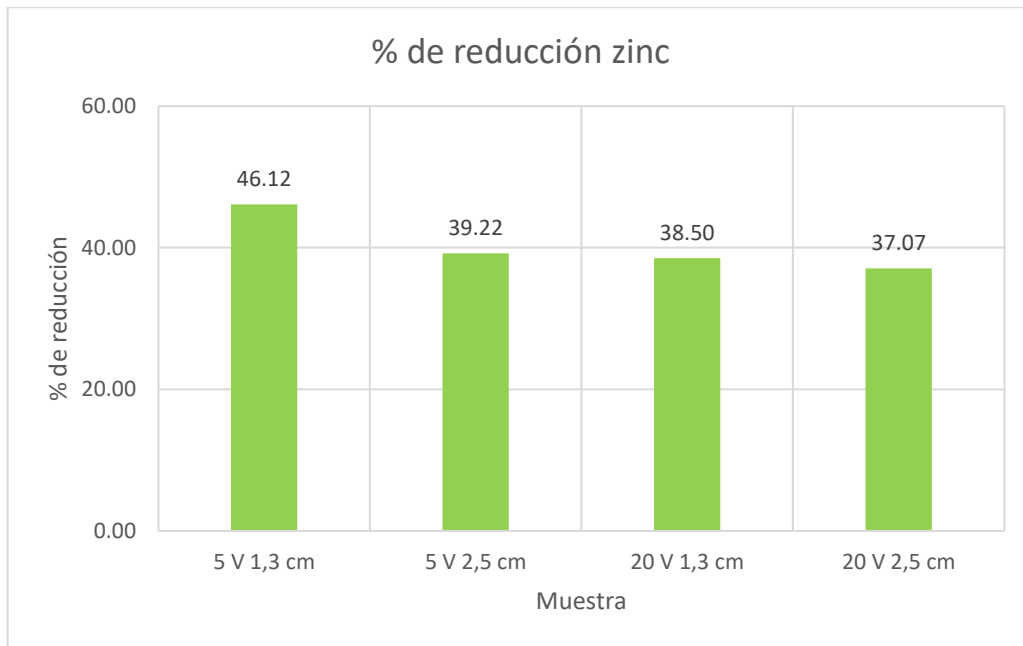
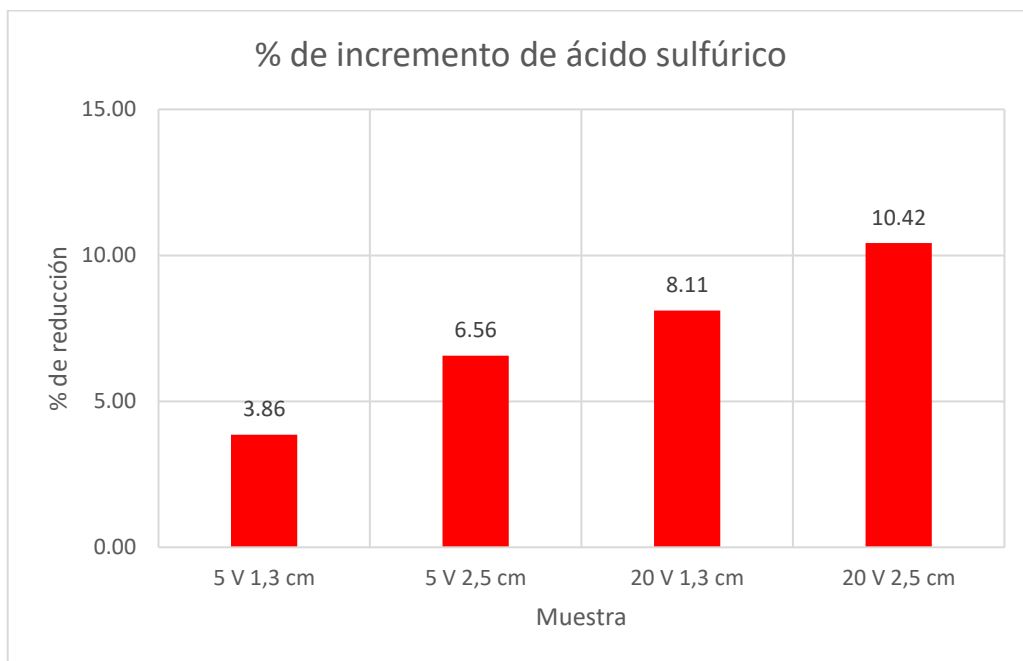


Figura 30

Porcentaje de incremento de ácido sulfúrico en cada corrida



VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

De acuerdo con la hipótesis específica 1 se hizo la caracterización fisicoquímica de la solución sintética de decapado de latón y se obtuvieron valores de concentración de 1691,0 mg/L para el cobre, 1535,0 mg/L para el zinc y de 0,259 N para el ácido sulfúrico, los cuales son muy cercanos a los valores teóricos: 1662,0 mg/L para el cobre, 1579,0 mg/L para el zinc y de 0,245 N para el ácido sulfúrico por lo tanto son valores aceptables.

De acuerdo con la hipótesis específica 2 el voltaje, la distancia entre electrodos y el tiempo de residencia influyeron determinantemente en el proceso de electrocoagulación, tal como se pudo corroborar a través del análisis estadístico, donde se obtuvieron valores del parámetro p de 0,049 para la distancia y de 0,030 para el voltaje y al ser estos valores menores a 0,050 podemos concluir que ambas variables son determinantes para el proceso de electrocoagulación y recuperación de la solución sintética de decapado de latón, además de haber comprobado la relevancia de la distancia entre electrodos y el voltaje en el tratamiento. Se evidenció que el tiempo de tratamiento es muy importante, se encontró que en investigaciones similares se asignó tiempo de tratamiento de 60 minutos, en nuestra investigación pudimos ver que efectivamente a partir de dicho tiempo se apreció un cambio

notorio en la coloración de la solución que estábamos tratando, pero se optó por dar un tiempo de 120 minutos para asegurar la mayor remoción posible de cobre y zinc.

De acuerdo con la hipótesis específica 3 se hizo la caracterización fisicoquímica de las muestras finales de cada corrida experimental y se pudo conocer las concentraciones de cobre, zinc y ácido sulfúrico, tal como se mostraron en las Tablas 12 y 13, de análisis de las mismas se pudo concluir que los resultados fueron favorables para contrastar esta hipótesis, pues hubo un incremento en la concentración de ácido sulfúrico con un valor máximo de 10,42%.

De acuerdo con la hipótesis general los resultados fueron favorables para la recuperación de la solución decapante, el mayor porcentaje de incremento de ácido sulfúrico con 10,42 % se dio en las condiciones de 20 V y una distancia entre electrodos de 2,5 cm, con dicho incremento en su concentración de ácido sulfúrico esta solución tiene la capacidad de continuar usándose en el proceso de decapado. Por otro lado, el mayor porcentaje de reducción de cobre con 78,01 % se dio en las condiciones de 20 V y una distancia entre electrodos de 1,3 cm. A su vez observamos que el mayor porcentaje de reducción de zinc con 46,12 % y se dio en las condiciones de 5 V y una distancia entre electrodos de 1,3 cm. Las concentraciones finales de cobre y zinc no superan el porcentaje de reducción planteado en la hipótesis, es decir de reducciones mayores a 90%

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Westres, (2013) realizó la remoción de cobre y zinc de agua residual de una planta productora de sulfatos obteniendo un porcentaje de remoción del 99,97 % para el cobre y del 99,86 % para el zinc siendo su concentración inicial de 18 915 mg/L de cobre y de 50 708 mg/L de zinc utilizó una celda de electrocoagulación de flujo continuo densidad de corriente de 5 A/dm² y un tiempo de tratamiento de 40 minutos y un pH de 9. Podemos concluir que mientras que Westres trabajó con un pH de 9 en esta investigación se trabajó con un pH de 1,2; Westres trabajó con aguas ácidas, similares a la que se usó en la presente investigación, sin embargo, mientras que en la presente investigación se hizo el tratamiento por electrocoagulación con la muestra directamente Westres por su parte primeramente usó hidróxido de sodio para acondicionar a pH 9 para posteriormente realizar el tratamiento es por ello que los porcentajes de reducción en la presente investigación fueron bajos, de 78,01 % y de 46,12 % para el cobre y para el zinc respectivamente.

Al-Shannag et al., (2015) realizaron la remoción de metales pesados de aguas residuales de galvanoplastia obteniendo porcentajes de reducción tanto para el cobre como para el zinc del 99 % siendo su concentración inicial de cobre de 33 mg/L y su concentración inicial de zinc de 20 mg/L, utilizaron una celda de electrocoagulación por lotes en un tiempo de tratamiento de 60 minutos y con una densidad de corriente de 4 mA/cm² y un pH de 9,6. Sin embargo los porcentajes de reducción en la presente investigación fueron bajos, de 78,01 % y de 46,12 % para el cobre y para el zinc respectivamente la explicación a ello es que Al-Shannag y

col. hicieron el tratamiento de aguas que tenían un pH 7 al cual luego acondicionaron a pH 9,7 en la presente investigación se realizó el tratamiento de la muestra sin acondicionar el pH pues el objetivo era recuperar la solución decapante. Podemos concluir de los resultados de este antecedente que el pH es un parámetro importante para la reducción de cobre y pues la diferencia de remoción de cobre y zinc es muy marcada.

Vosoogh et al., (2017) realizaron el estudio de la eficiencia de remoción de los metales pesados: níquel, cadmio y plomo en un agua subterránea, empleando cuatro electrodos de aluminio obteniendo una eliminación de más del 90 % en un tiempo de tratamiento de 20 min, a una diferencia de potencial de 15 V, distancia entre los electrodos de 2,2 cm. Ellos emplearon la misma tecnología, pero se centraron en otros metales níquel cadmio y plomo obteniendo Lo que demuestra que el proceso es efectivo para la remoción de metales.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información emitida en el presente informe final de Investigación, de acuerdo al Reglamento del Código de Ética de la Investigación de la UNAC Resolución del Consejo Universitario N° 260-2019-CU.

CONCLUSIONES

Se determinó que si es posible la recuperación de la solución decapante por medio del proceso de electrocoagulación.

Se determinaron las características fisicoquímicas de la solución sintética inicial de decapado de latón las cuales presentan una concentración de cobre de 1691 mg/L, una concentración de zinc de 1535 mg/L y una concentración de ácido sulfúrico de 0,259 N

Se determinó que las variables de mayor incidencia en el proceso de electrocoagulación para la reducción de cobre y zinc fueron el voltaje y el tiempo.

Se determinaron las características fisicoquímicas de la solución sintética de decapado de latón luego de la electrocoagulación encontrándose que a menor distancia entre los electrodos y mayor voltaje el porcentaje de remoción de cobre fue el máximo con un valor de 78,01 %, sin embargo, con un menor voltaje el porcentaje de remoción del zinc fue el máximo con un valor de 46,12 %. A su vez a un mayor voltaje y una mayor distancia entre los electrodos se obtuvo un mayor incremento de la concentración del ácido sulfúrico con un valor de 10,42 %. Observamos que el pH influye de forma significativa en la remoción de cobre y zinc ya que en comparación con los antecedentes se observa que obtuvieron porcentajes de reducción mayores al 90%.

RECOMENDACIONES

Trabajar con un mayor tiempo de electrocoagulación para obtener un mayor porcentaje de remoción de los metales.

Disminuir la concentración de iones sulfato con la adición de sales con el fin de contrarrestar el bajo porcentaje de reducción de la concentración de cobre y zinc.

Asegurar una correcta agitación en el seno de todo el fluido a tratar ello influirá favorablemente en la remoción de los metales a tratar.

Limpiar y pulir bien la superficie de los electrodos para una mejor distribución de la carga.

Los electrodos de aluminio tienen por naturaleza una capa protectora de óxido de aluminio que impide el flujo de corriente, se recomienda lijar la zona que estará en contacto con la fuente de corriente.

Luego del tratamiento de electrocoagulación se recomienda continuar con una operación de separación de sólidos, ya que se pudo ver que en el seno del fluido hubo presencia de sólidos suspendidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Shannag, M., Al-Qodah, Z., Bani-Melhem, K., Qtaishat, M., y Alkasrawi, M. (2015). Heavy metal ions removal from metal plating wastewater using electrocoagulation: Kinetic study and process performance. *Chemical Engineering Journal*.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.035>
- Barrera, C. (2014). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales* (Editorial Reverté (ed.); Primera ed).
https://www.reverte.com/libro/aplicaciones-electroquimicas-al-tratamiento-de-aguas-residuales_81493/
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (Prentice Hall (ed.); Tercera ed).
<https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/EI-proyecto-de-investigación-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- Castañeda, D., y Choton, E. (2018). *Estudio de la densidad de corriente y tiempo de residencia en el proceso de electrocoagulación y su influencia en la reducción Fe²⁺ de solución de drenaje ácido de mina* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO].
[https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/11230/Castañeda Hilario, Dagner; Choton Cipriano, Eric.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/11230/Castañeda%20Hilario,%20Dagner;%20Choton%20Cipriano,%20Eric.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D., y Sandoval, I. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. *Ingeniería y Región*, 13(1), 73.
<https://doi.org/10.25054/22161325.710>
- Cerveró, M. (2009). *Decapado*.
<https://estrucplan.com.ar/decapado/>
- Condori, A. (2018). *Evaluación de la tratabilidad del efluente generado por un*

laboratorio metalúrgico aplicando la electrocoagulación [Universidad Nacional Agraria La Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3627>

Davis, M. (2010). Water and wastewater engineering Design Principles and Practice. In *Wetpress*. http://files.engineering.com/download.aspx?folder=cc3439ad-03d9-46ca-ac43-bc141d8fe242&file=Water_and_Waste_Water_Engineering.pdf

De Gruyter, W. (1994). *Concise encyclopedia chemistry*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/9783110854039>

Franco, S. (2016). *Electrocoagulación de selenio de aguas residuales* [UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA]. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23220/3560900232327UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Garcés, L., y Ruiz, A. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Revista Universidad EAFIT*, 43(147), 56–67. <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/764/672>

González, E., y Malca, M. (2019). *Influencia del amperaje y tiempo de residencia sobre la remoción de metales pesados en aguas ácidas por electrocoagulación* [Universidad Privada Del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21258>

Holt, P. (2002). *Electrocoagulation: unravelling and synthesising the mechanisms behind a water treatment process* [University of Sydney]. <http://hdl.handle.net/2123/624>

Huayta, L. (2017). *Propuesta de tratamiento electroquímico en aguas de filtración*

de relave, provenientes de Southern Copper Corporation en la Región Moquegua, para su uso agrícola [Universidad Nacional de San Agustín].
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3010/Quhugul.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kim, T., Kim, TK., y Zoh, KD. (2020). Removal mechanism of heavy metal (Cu, Ni, Zn, and Cr) in the presence of cyanide during electrocoagulation using Fe and Al electrodes. *Journal of Water Process Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101109>

Martínez, F. (2007). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional* [Universidad de Castilla-la Mancha].
<https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251Tratamientodeaguasresidualesindustriales.pdf?sequence=1>

Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, Plataforma digital única del estado peruano (2019).
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/272120-010-2019-vivienda>

Murillo, A. (2016). *Propuesta de tratamiento para el agua residual industrial generada por procesos de cromado mediante electrocoagulación* [FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA].
<http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/428/1/6091166-2016-2-IQ.pdf>

Quispe, K. (2015). *Electrocoagulación en la remoción de mercurio de las aguas residuales en el centro poblado La Rinconada- Puno* [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO].
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2529/Quispe_Quispe_Karen_Kelly.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Restrepo, A., Arango, Á., y Garces, L. (2006). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción + Limpia*, 1. https://www.researchgate.net/publication/277035194_La_Electrocoagulacion_retos_y_oportunidades_en_el_tratamiento_de_aguas
- Sher, F., Hanif, K., Iqbal, S., y Imran, M. (2020). Implications of advanced wastewater treatment: Electrocoagulation and electroflocculation of effluent discharged from a wastewater treatment plant. *Journal of Water Process Engineering*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101101>
- Sillanpää, M., y Shestakova, M. (2017). Electrochemical Water Treatment Methods. In *Electrochemical Water Treatment Methods: Fundamentals, Methods and Full Scale Applications* (pp. 47–130). Matthew Deans. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811462-9.00002-5>
- Vosoogh, A., Baghvand, A., y Saghakhaneh, H. (2017). Removal of heavy metals and hardness from groundwater via electro-coagulation method. *Pollution*, 3(2), 213–224. <https://doi.org/10.7508/pj.2017.02>.
- Wang, L., Hung, Y., y Shamma, N. (2009). *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment*. https://www.academia.edu/23284820/Industrial_and_Hazardous_Wastes_Treatment
- Westres, S. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales procedentes de una planta productora de sulfatos mediante el proceso electroquímico de electrocoagulación* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_4fc8550fe1dde2249ce71d3ffab724a9/Details

ANEXOS

1. Matriz de Consistencia

“RECUPERACIÓN DE SOLUCIÓN DECAPANTE Y REDUCCIÓN DE COBRE Y ZINC POR ELECTROCOAGULACIÓN EN UNA SOLUCIÓN SINTÉTICA DE DECAPADO DE LATÓN”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
Problema general: ¿Es posible la recuperación de la solución decapante y la reducción de cobre y zinc por electrocoagulación en una solución sintética de decapado de latón?	Objetivo general: Recuperar la solución decapante y reducir las concentraciones de cobre y zinc de una solución sintética de decapado de latón por electrocoagulación.	Hipótesis general: El proceso electrocoagulación permitirá la recuperación de la solución decapante y la reducción de las concentraciones de cobre y zinc en una solución sintética de decapado de latón con porcentajes de reducción mayores al 90%.	Variable dependiente Y: Recuperación de la solución decapante, reducción de cobre y zinc.	Y ₁ : Concentración final de H ₂ SO ₄ . Y ₂ : Concentración final de Cu. Y ₃ : Concentración final de Zn.	N (Normal) mg/L mg/L	Análisis volumétrico Análisis por absorción atómica
Problemas específicos: ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la solución sintética inicial de decapado de latón?	Objetivos específicos: Determinar las características fisicoquímicas de la solución sintética inicial de decapado de latón.	Hipótesis específicas: La caracterización fisicoquímica permitirá conocer las concentraciones de H ₂ SO ₄ , cobre y zinc.	Variable independiente X ₁ : Cantidad de voltaje en el proceso de electrocoagulación.	X ₁ : Voltaje	V	Medición con instrumentos
¿Cuáles son los parámetros operacionales del proceso de electrocoagulación?	Determinar los parámetros operacionales del proceso de electrocoagulación.	El voltaje, la distancia entre electrodos y el tiempo de residencia influirán determinadamente en el proceso de electrocoagulación.	X ₂ : Distribución de los electrodos en proceso de electrocoagulación.	X ₂ : Distancia entre electrodos en el proceso de electrocoagulación	cm	
¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la solución sintética de decapado de latón luego de la electrocoagulación?	Determinar las características fisicoquímicas de la solución sintética de decapado de latón luego de la electrocoagulación.	La caracterización fisicoquímica permitirá conocer las concentraciones de H ₂ SO ₄ , cobre y zinc y habrá un incremento en la concentración de H ₂ SO ₄ .				

2. Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA

ANEXO N° 1

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

ANEXO N° 2

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuros	mg/l	S ⁻²	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH ⁺⁴	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

(1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, es la precisada en el presente Reglamento tomando como referencia el código CIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deben cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo. Los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento, son determinados a partir del análisis de muestras puntuales.

(2) Las concentraciones de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 deben ser determinadas a partir del análisis de muestras puntuales.

3. Certificados y ficha técnica de reactivos empleados en la investigación

Certificado de análisis del Sulfato de cobre pentahidratado



Certificate of Analysis

1.02790.0000 Copper(II) sulfate pentahydrate for analysis EMSURE® ACS,ISO,
Reag. Ph Eur
Batch AM1483390

	Spec. Values		Batch Values	
Assay (iodometric)	99.0 - 100.5	%	100.0	%
Insoluble matter	≤ 0.005	%	≤ 0.005	%
Chloride (Cl)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
Total nitrogen (N)	≤ 0.001	%	≤ 0.001	%
Ca (Calcium)	≤ 0.005	%	≤ 0.005	%
Fe (Iron)	≤ 0.003	%	≤ 0.003	%
K (Potassium)	≤ 0.001	%	≤ 0.001	%
Na (Sodium)	≤ 0.005	%	≤ 0.005	%
Ni (Nickel)	≤ 0.005	%	≤ 0.005	%
Pb (Lead)	≤ 0.005	%	≤ 0.005	%
Zn (Zinc)	≤ 0.03	%	≤ 0.03	%

Corresponds to ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Date of release (DD.MM.YYYY) 23.09.2019
Minimum shelf life (DD.MM.YYYY) 30.09.2024

Claudia Wiegand
Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

Ficha técnica del sulfato de zinc heptahidratado

Ferrosalt
S.A.

Ca. Enrique Palacios #335 4to. Piso/Miraflores – Lima
6257500 / 6257501 / 6257502 / 6257503 / 6257504

SULFATO DE ZINC HEPTAHIDRATADO ESPECIFICACIONES

COMPOSICIÓN	ZnSO ₄ .7H ₂ O
ASPECTO	Cristales finos.
SOLUBILIDAD	100% soluble en agua.
ZINC (Zn)*	21.87%
ZnSO ₄ .7H ₂ O**	96.15%
pH(Solución al 5%)	4.0 – 6.0



*Rango de resultados del Zn: ±0.87%

** Rango de resultados del ZnSO₄.7H₂O: ± 3.82%

- Metales pesados a solicitud del cliente



Certificado de análisis del ácido sulfúrico

F-(C)-E-70
10/07/2019 *OK LHO*



Ácido Sulfúrico
BAKER ANALYZED® Reactivo A.C.S.

No. de Producto : 9681
No. de Lote : Y31C40
Fecha de Manufactura:
Jul. 31, 18

Certificado de Análisis

PRUEBAS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
Cumple Especificaciones ACS		
Ensayo H ₂ SO ₄ (por Acidimetría)	95.0-98.0%	97.70000 %
Apariencia	Pasa prueba	Pasa prueba
Color (APHA)	Máx. 10	5.0
Gravedad Específica 60°/60°F	1.84	1.8400
Residuo Después de Ignición	Máx. 4.00 ppm	4.000 ppm
Sustancias Reductoras de Permanganato (como SO ₂)	Máx. 2.0 ppm	2.000 ppm
Trazas de Impurezas (ppm)		
Amonio (NH ₄)	Máx. 1.0 ppm	1.000 ppm
Arsénico (As)	Máx. 0.004 ppm	0.004 ppm
Cloruro (Cl)	Máx. 0.10 ppm	0.100 ppm
Nitrato (NO ₃)	Máx. 0.5 ppm	0.500 ppm
Trazas de Impurezas (ppb)		
Aluminio (Al)	Máx.200 ppb	50.00 ppb
Calcio (Ca)	Máx.200.00 ppb	50.00 ppb
Cromo (Cr)	Máx.100.00 ppb	50.00 ppb
Cobre (Cu)	Máx.100.00 ppb	10.00 ppb
Oro (Au)	Máx. 100.00 ppb	10.00 ppb
Metales Pesados (como Pb)	Máx.500ppb	10.00 ppb
Hierro (Fe)	Max. 200.00 ppb	100.00 ppb
Plomo (Pb)	Máx.200ppb	10.00 ppb
Magnesio (Mg)	Máx.200 ppb	10.00 ppb
Manganeso (Mn)	Máx. 100.00 ppb	10.00 ppb
Mercurio (Hg)	Máx. 5.00 ppb	5.00 ppb
Molibdeno (Mo)	Máx. 10.00 ppb	10.00 ppb
Níquel (Ni)	Máx.200 ppb	50.00 ppb
Potasio (K)	Máx. 300.00 ppb	100.00 ppb
Sodio (Na)	Máx. 300.00 ppb	150.00 ppb
Estaño (Sn)	Máx. 200.00 ppb	50.00 ppb
Titanio (Ti)	Máx. 200.00 ppb	10.00 ppb
Zinc (Zn)	Máx. 200.00 ppb	10.00 ppb

País de Origen: México
Fecha de Caducidad :Julio/2023.

Philippburg, NJ 9001-2098 1-800-209-1516-21000
Paris, Fr 9803-2208
Mexico City, Mexico 5091-2038
Dordrecht, The Netherlands 9001-2086, 14001-2004, 11435-2005
Osaka, Japan 4501-2006
Singapore, Malaysia 980-2080
Chennai, India, 9901-2093, 14501-2004, 13445-2005
Mumbai, India, 9001-2008, 17025-2005
Zurich, Switzerland 9001-2024

James Fisher
Vice President Global Quality

Avantor Performance Materials S.A. de C.V. Plomo No. 2 Fracc. Ind. Esf. Nat., Xalostoc, 55320 Ecatepec, Edo. de México
Tel. 5699-0250 Fax 5791-2347 01-800-70-01

Certificado de análisis de hidróxido de sodio

(C)-D-49
-50
-51

Sodium Hydroxide, Pellet
AR® (ACS)



Material No.: 7708-28
Batch No.: 0000232473
Manufactured Date: 2019/06/12
Expiration Date: 2021/12/10
Revision No: 1

Certificate of Analysis

Meets ACS Reagent Chemical Requirements.

Test	Specification	Result
Assay (NaOH) (by acidimetry)	>= 98 %	98
Identification	Passes Test	PT
Calcium (Ca)	<= 0.005 %	< 0.005
Chloride (Cl)	<= 0.005 %	< 0.005
Copper (Cu)	<= 0.001 %	< 0.001
Heavy Metals (as Ag)	<= 0.001 %	< 0.001
Insoluble Matter	<= 0.003 %	< 0.002
Iron (Fe)	<= 0.0003 %	< 0.0002
ACS - Magnesium (Mg)	<= 0.002 %	< 0.002
Mercury (Hg)	<= 0.100 ppm	< 0.001
Nickel (Ni)	<= 0.0005 %	< 0.0005
Nitrogen Compounds (as N)	<= 0.0003 %	< 0.0003
Phosphate (PO ₄)	<= 0.0002 %	< 0.0002
Potassium (K)	<= 0.02 %	0.02
Sodium Carbonate (Na ₂ CO ₃)	<= 0.4 %	0.3
ACS - Sulfate (SO ₄)	<= 0.003 %	< 0.003

For Laboratory, Research or Manufacturing Use
Meets Reagent Specifications for testing USP/NF monographs
Appearance (white hygroscopic pellets)

Country of Origin: SE
Packaging Site: Phillipsburg Mfg Ctr & DC

James Ethier
Jamie Ethier
Vice President Global Quality

For questions on this Certificate of Analysis please contact Technical Services at 855.282.6867 or +1.610.386.1700
Avantor Performance Materials, LLC
100 Matsonford Rd, Suite 200, Radnor, PA 19087. U.S.A. Phone: 610.386.1700

Certificado de análisis del ftalato de potasio



Scharlab S.L.

Crtra. Polinya a Sentmenat, Km 8,2

08181 Sentmenat

+34937456400

helpdesk@scharlab.com

P-np-C-04

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Product	Potassium hydrogen phthalate, secondary standard for volumetric titrations, Titrasure®	Batch	20486301
		Quality release date	13/02/2020
PO0131		Expiry date	01/2025

Analysis	Batch value	Specifications
Assay (Acidimetric, on dried sample)	100,03 %	99,95 - 100,05
Identity (IR-Spectrum)	passes test	passes test
Insoluble in water	< 0,0050 %	≤ 0,005
pH (0,05 mol/l, H ₂ O, 25 °C)	4,01	4,00 - 4,02
Chlorine compounds (as Cl)	< 0,003 %	≤ 0,003
Chlorides (Cl)	0,0008 %	≤ 0,002
Total nitrogen (as N)	< 0,001 %	≤ 0,001
Heavy metals (as Pb)	< 5 ppm	≤ 5
Iron (Fe)	< 5 ppm	≤ 5
Sodium (Na)	0,004 %	≤ 0,005
Sulfur compounds (as S)	< 0,002 %	≤ 0,002

Meets ACS specifications

Preparation

Dried at 120°C for 2 hours.

Traceability

This standard was checked using a Sodium Hydroxide standard solution, that was also checked against Standard Reference Material from NIST, SRM 84L Potassium hydrogen phthalate.

Uncertainty

The uncertainty of the analytical method is ±0,05%.

It characterises the dispersion of the values that could be attributed to the dispersion of the analytical results due to the random errors occurred in the stages of the analytical procedure.

Measurement

The batch value is determined by means of potentiometric method (acidimetric).

Storage and use

For standardization of volumetric solutions.

The volumetric standard must be dried at 120°C for 2h and cooled in a desiccator before use.

If the product is stored and unopened, this standard is stable for 5 years from the date of manufacturing.

The standard must be kept tightly closed at room temperature. Avoid exposure to light and moisture.

For laboratory use only

Results marked with # are out of specifications.
This certificate does not exempt the user from checking the results upon receipt of the goods.
Any copy of our CoA may be obtained from our website at www.scharlab.com

Ricard Balladares Abella
Laboratory Technician

4. Análisis de ensayo inicial

Lectura de la concentración de cobre en la muestra de la solución sintética

The screenshot displays the Syngistix AA Flame - Analysis software interface. The main window is divided into several sections:

- Instrument Panel:** Contains tabs for Instrument, Analysis, Results, and Utilities. The Analysis tab is active, showing options like Column Fill, Clear, Insert Rows, Delete Rows, Method, Save, Open, and New.
- Analysis Panel:** Shows the 'Manual' section with 'Analyze Sample' selected. The sample concentration is set to 250 mg/L.
- Calibration Display:** A graph showing Absorbance vs. concentration (mg/L) for Cu 324.75. The calibration equation is 'Non Lin Thru 0' with a correlation coefficient of 1.0. The y-axis ranges from 0.000 to 0.770, and the x-axis ranges from 0.0 to 20.0.
- Results Panel:** Displays the following data:

SD:	0.913	0.913	0.0161
%RSD:	2.58%	2.58%	1.41

Sample concentration is greater than that of the highest standard.

Sequence No.: 711 Autosampler Locat
 Sample ID: Sample250 Date Collected: 2
 Analyst: Data Type: Origin

Replicate Data: Sample250 Analyte: Cu 324.7

Repl #	SampleConc mg/L	StndConc mg/L	BlnkCorr Signal	Time	Signal Stored
1	1.708	1.708	0.0757	06:29:40	No
2	1.691	1.691	0.0750	06:29:41	No
3	1.672	1.672	0.0741	06:29:43	No
Mean:	1.691	1.691	0.0749		
SD:	0.0182	0.0182	0.0008		
%RSD:	1.08%	1.08%	1.07		
- Status Panel:** Shows the instrument status as 'Idle' and 'Flame Operating Normally'.

Lectura de la concentración de zinc en la muestra de la solución sintética

Syngistix AA Flame - Analysis

Instrument Analysis Results Utilities

Column Fill Clear
Insert Rows
Delete Rows
Edit

Method
New Open Save
Method

Sample Info
New Open Save
Sample Information

Analysis Read
Automat
Autozero
Auto Gain

Analysis

Manual

Analyze Blank
Blank
bk

Analyze Standard
Standard
Reslope Std 2 Conc...

Analyze Sample
Sample
250 Sample250

Calibration Display

Zn 213.86
0.667

0.000
0.0 conc(mg/L) 4.0

Calib Eq'n: Non Lin Thru 0
Corr Coeff: 1.0

Results

Mean:	4.027	4.027	0.6691
SD:	0.1180	0.1180	0.0115
%RSD:	2.93%	2.93%	1.72

Sequence No.: 749
Sample ID: Sample250
Analyst:

Autosampler Locat
Date Collected: 2
Data Type: Origin

Replicate Data: Sample250
Analyte: Zn 213.8

Repl #	SampleConc mg/L	StdConc mg/L	BlkCorr Signal	Time	Signal Stored
1	1.535	1.535	0.3089	06:37:02	No
2	1.531	1.531	0.3082	06:37:04	No
3	1.539	1.539	0.3095	06:37:05	No
Mean:	1.535	1.535	0.3089		
SD:	0.0036	0.0036	0.0007		
%RSD:	0.23%	0.23%	0.21		

Status Panel

Idle

Zn

Method
Zn.31

Sample Information ...
informacion

Data Set
Not Saving Data

Idle

Flame Operating
Normally

5. Análisis de ensayo final

Lectura de la concentración de cobre en la muestra de la corrida a 5 V y 1,3 cm

Syngistix AA Flame - Analysis

Instrument Analysis Results Utilities

Column Fill Clear Insert Rows Delete Rows Edit

Method New Open Save Method

Sample Info New Open Save Sample Information

Analysis Read Autozero Auto Gain

Analysis

Manual

Analyze Blank: Blank, bk

Analyze Standard: Standard, Reslope Std 10, Conc...

Analyze Sample: Sample, Sample, 250, Sample250

Calibration Display

Cu 324.75

Absorbance

0.000 0.770

0.0 conc(mg/L) 20.0

Calib Eq'n: Non Lin Thru 0

Corr Coeff: 1.0

Results

Mean:	1.691	1.691	0.0749
SD:	0.0182	0.0182	0.0008
%RSD:	1.08%	1.08%	1.07

Sequence No.: 712 Autosampler Locat

Sample ID: Sample250 Date Collected: 2

Analyst: Data Type: Origin

Replicate Data: Sample250 Analyte: Cu 324.7

Repl #	SampleConc mg/L	StndConc mg/L	BlkCorr Signal	Time	Signal Stored
1	9.010	9.010	0.3813	06:30:10	No
2	9.083	9.083	0.3842	06:30:11	No
3	9.007	9.007	0.3812	06:30:12	No
Mean:	9.033	9.033	0.3822		
SD:	0.0431	0.0431	0.0017		
%RSD:	0.48%	0.48%	0.45		

Status Panel

Idle

Cu

Method: Cu.39

Sample Information ...

Data Set: Not Saving Data

Idle

Flame Operating Normally

Lectura de la concentración de cobre en la muestra de la corrida a 5 V y 2,5 cm

Syngistix AA Flame - Analysis

Instrument Analysis Results Utilities

Column Fill Clear
Insert Rows
Delete Rows
Edit

Method
New
Open
Save
Method

Sample Info
New
Open
Save
Sample Information

Analysis Read
Automat
Autozer
Auto Ga

Analysis

Manual

Analyze Blank
Blank
bk

Analyze Standard
Standard
Reslope Std 10
Conc...

Analyze Sample
Sample
250
Sample
Sample250

Calibration Display

Cu 324.75

Absorbance

0.770

0.000

0.0 conc(mg/L) 20.0

Calib Eq'n: Non Lin Thru 0
Corr Coeff: 1.0

Results

Mean:	9.033	9.033	0.3822
SD:	0.0431	0.0431	0.0017
%RSD:	0.48%	0.48%	0.45

Sequence No.: 713
Sample ID: Sample250
Analyst:

Autosampler Locat
Date Collected: 2
Data Type: Origin

Replicate Data: Sample250
Analyte: Cu 324.7

Repl #	SampleConc mg/L	StndConc mg/L	BlncCorr Signal	Time	Signal Stored
1	7.889	7.889	0.3365	06:30:29	No
2	7.900	7.900	0.3369	06:30:30	No
3	7.858	7.858	0.3352	06:30:31	No
Mean:	7.882	7.882	0.3362		
SD:	0.0217	0.0217	0.0009		
%RSD:	0.28%	0.28%	0.26		

Status Panel

Idle

Cu

Method
Cu.39

Sample Information ...
informacion

Data Set
Not Saving Data

Idle

Flame Operating
Normally

Lectura de la concentración de cobre en la muestra de la corrida a 20 V y 1,3 cm

Syngistix AA Flame - Analysis

Instrument Analysis Results Utilities

Column Fill Clear
Insert Rows
Delete Rows
Edit

Method
New Open Save
Method

Sample Info
New Open Save
Sample Information

Automat
Autozero
Auto Gain

Analysis Read

Analysis

Manual

Analyze Blank
Blank
bk

Analyze Standard
Standard
Reslope Std 10 Conc...

Analyze Sample
Sample
250
Sample
Sample250

Calibration Display

Cu 324.75

Absorbance

0.000 0.770

0.0 conc(mg/L) 20.0

Calib Eq'n: Non Lin Thru 0
Corr Coeff: 1.0

Results

Mean:	7.882	7.882	0.3362
SD:	0.0217	0.0217	0.0009
%RSD:	0.28%	0.28%	0.26

Sequence No.: 714
Sample ID: Sample250
Analyst:

Autosampler Locat
Date Collected: 2
Data Type: Origin

Replicate Data: Sample250
Analyte: Cu 324.7

Repl #	SampleConc mg/L	StndConc mg/L	BlkCorr Signal	Time	Signal Stored
1	7.424	7.424	0.3177	06:30:46	No
2	7.431	7.431	0.3179	06:30:47	No
3	7.454	7.454	0.3189	06:30:48	No
Mean:	7.436	7.436	0.3182		
SD:	0.0154	0.0154	0.0006		
%RSD:	0.21%	0.21%	0.20		

Status Panel

Idle

Cu

Method
Cu.39

Sample Information ...
informacion

Data Set
Not Saving Data

Idle

Flame Operating Normally

Lectura de la concentración de cobre en la muestra de la corrida a 20 V y 1,3 cm

Syngistix AA Flame - Analysis

Instrument Analysis Results Utilities

Column Fill Clear
Insert Rows
Delete Rows
Edit

Method
New Open Save
Method

Sample Info
New Open Save
Sample Information

Automat
Autozero
Auto Gain

Analysis

Manual

Analyze Blank
Blank
bk

Analyze Standard
Standard
Reslope Std 10 Conc...

Analyze Sample
Sample Sample
Sample250 Sample250

Haga clic en las señales de la muestra definidas a la derecha.

Calibration Display

Cu 324.75

Absorbance

0.770

0.000

0.0 conc(mg/L) 20.0

Calib Eq'n: Non Lin Thru 0
Corr Coeff: 1.0

Results

Mean:	7.436	7.436	0.3182
SD:	0.0154	0.0154	0.0006
%RSD:	0.21%	0.21%	0.20

Sequence No.: 715
Sample ID: Sample250
Analyst:

Autosampler Locat
Date Collected: 2
Data Type: Origin

Replicate Data: Sample250
Analyte: Cu 324.7

Repl #	Sample Conc mg/L	Std Conc mg/L	Blk Corr Signal	Time	Signal Stored
1	8.861	8.861	0.3754	06:31:03	No
2	8.885	8.885	0.3763	06:31:04	No
3	8.850	8.850	0.3749	06:31:05	No
Mean:	8.865	8.865	0.3755		
SD:	0.0176	0.0176	0.0007		
%RSD:	0.20%	0.20%	0.19		

Status Panel

Idle

Cu

Method
Cu.39

Sample Information ...
informacion

Data Set
Not Saving Data

Idle

Flame Operating Normally

Lectura de la concentración de zinc en la muestra de la corrida a 5 V y 1,3 cm

The screenshot displays the Syngistix AA Flame - Analysis software interface. The top menu bar includes Instrument, Analysis, Results, and Utilities. The Analysis panel on the left shows settings for Analyze Blank (Blank, bk), Analyze Standard (Standard, Reslope Std 2), and Analyze Sample (Sample, 250, Sample250). The Calibration Display window shows a graph of Absorbance vs. concentration (mg/L) for Zn, with a non-linear fit equation and a correlation coefficient of 1.0. The Results section shows statistical data for Zn, including Mean, SD, and %RSD for three replicates. A red arrow points to the Mean value of 0.827 mg/L. The Status Panel on the right indicates the instrument is Idle and the flame is operating normally.

Analysis Settings:

- Analyze Blank: Blank (bk)
- Analyze Standard: Standard (Reslope Std 2)
- Analyze Sample: Sample (250, Sample250)

Calibration Display:

Zn 213.86
0.667
Absorbance
0.000
0.0 conc(mg/L) 4.0
Calib Eq'n: Non Lin Thru 0
Corr Coeff: 1.0

Results:

Mean:	1.535	1.535	0.3089
SD:	0.0036	0.0036	0.0007
%RSD:	0.23%	0.23%	0.21

Sequence No.: 750
Sample ID: Sample250
Analyst:
Autosampler Locat
Date Collected: 2
Data Type: Origin

Replicate Data: Sample250
Analyte: Zn 213.8

Repl #	SampleConc mg/L	StndConc mg/L	Blncorr Signal	Time	Signal Stored
1	0.825	0.825	0.1710	06:37:22	No
2	0.834	0.834	0.1730	06:37:23	No
3	0.823	0.823	0.1706	06:37:25	No
Mean:	0.827	0.827	0.1715		
SD:	0.0063	0.0063	0.0013		
%RSD:	0.77%	0.77%	0.74		

Status Panel:

- Idle
- Zn
- Method: Zn.31
- Sample Information ...
- Data Set: Not Saving Data
- Idle
- Flame Operating Normally

Lectura de la concentración de zinc en la muestra de la corrida a 5 V y 2,5 cm

Syngistix AA Flame - Analysis

Instrument Analysis Results Utilities

Column Fill Clear
Insert Rows
Delete Rows
Edit

Method
New
Open
Save
Method

Sample Info
New
Open
Save
Sample Information

Automat
Autozero
Auto Gain

Analysis Read

Analysis

Manual

Analyze Blank
Blank
bk

Analyze Standard
Standard
Reslope Std 2
Conc...

Analyze Sample
Sample
250
Sample
Sample250

Calibration Display

Zn 213.86
0.667

Absorbance

0.000

0.0 conc(mg/L) 4.0

Calib Eq'n: Non Lin Thru 0
Corr Coeff: 1.0

Status Panel

Idle

Zn

Method
Zn.31

Sample Information ...
informacion

Data Set
Not Saving Data

Idle

Flame Operating
Normally

Results

Mean: 0.827 0.827 0.1715
SD: 0.0063 0.0063 0.0013
%RSD: 0.77% 0.77% 0.74

Sequence No.: 751
Sample ID: Sample250
Analyst:

Autosampler Locat
Date Collected: 2
Data Type: Origin

Replicate Data: Sample250
Analyte: Zn 213.8

Repl #	SampleConc mg/L	StdConc mg/L	Blncorr Signal	Time	Signal Stored
1	0.918	0.918	0.1898	06:37:42	No
2	0.948	0.948	0.1957	06:37:43	No
3	0.932	0.932	0.1925	06:37:45	No
Mean:	0.933	0.933	0.1927		
SD:	0.0150	0.0150	0.0030		
%RSD:	1.61%	1.61%	1.55		

Lectura de la concentración de zinc en la muestra de la corrida a 20 V y 1,3 cm

Syngistix AA Flame - Analysis

Instrument Analysis Results Utilities

Column Fill Clear Insert Rows Delete Rows Edit Method New Open Save Method Sample Info Save Sample Information Analysis Read Automat Autozero Auto Gain

Analysis

Manual

Analyze Blank: Blank (bk)

Analyze Standard: Reslope Std 2 (Conc...)

Analyze Sample: Sample (250) Sample (Sample250)

Calibration Display

Zn 213.86

Absorbance

0.667

0.000

0.0 conc(mg/L) 4.0

Calib Eq'n: Non Lin Thru 0

Corr Coeff: 1.0

Results

Mean:	0.933	0.933	0.1927
SD:	0.0150	0.0150	0.0030
%RSD:	1.61%	1.61%	1.55

Sequence No.: 752 Autosampler Locat

Sample ID: Sample250 Date Collected: 2

Analyst: Data Type: Origin

Replicate Data: Sample250 Analyte: Zn 213.8

Repl #	SampleConc mg/L	StndConc mg/L	Blncorr Signal	Time	Signal Stored
1	0.946	0.946	0.1952	06:38:04	No
2	0.946	0.946	0.1953	06:38:05	No
3	0.939	0.939	0.1940	06:38:06	No
Mean:	0.944	0.944	0.1948		
SD:	0.0037	0.0037	0.0007		
%RSD:	0.39%	0.39%	0.38		

Status Panel

Idle

Zn

Method: Zn.31

Sample Information ...: informacion

Data Set: Not Saving Data

Idle

Flame Operating Normally

Lectura de la concentración de zinc en la muestra de la corrida a 20 V y 2,5 cm

Syngistix AA Flame - Analysis

Instrument Analysis Results Utilities

Column Fill Clear Insert Rows Delete Rows Edit Method New Open Save Method Sample Info Save Sample Information Analysis Read Automate Autozero Auto Gain

Analysis

Manual

Analyze Blank Blank bk

Analyze Standard Standard Reslope Std 2 Conc...

Analyze Sample Sample 250 Sample Sample250

Calibration Display

Zn 213.86
0.667

Absorbance

0.000 0.0 conc(mg/L) 4.0

Calib Eq'n: Non Lin Thru 0
Corr Coeff: 1.0

Results

Mean:	0.944	0.944	0.1948
SD:	0.0037	0.0037	0.0007
%RSD:	0.39%	0.39%	0.38

Sequence No.: 753
Sample ID: Sample250
Analyst:

Autosampler Locat
Date Collected: 2
Data Type: Origin

Replicate Data: Sample250

Repl #	SampleConc mg/L	StdConc mg/L	BlnkCorr Signal	Time	Signal Stored
1	0.948	0.948	0.1957	06:38:22	No
2	0.965	0.965	0.1990	06:38:23	No
3	0.984	0.984	0.2029	06:38:25	No
Mean:	0.966	0.966	0.1992		
SD:	0.0180	0.0180	0.0036		
%RSD:	1.87%	1.87%	1.80		

Analyte: Zn 213.8

Status Panel

Idle

Zn

Method Zn.31

Sample Information ... informacion

Data Set Not Saving Data

Idle

Flame Operating Normally