



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**“Remoción de zinc de un efluente del proceso de flotación de
hierro por electrodiálisis”**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestra

Presenta:

Ing. Lucia Hernández Lavalle

Director de tesis:

Dr. Jaime Cristóbal Rojas Montes

Durango, Dgo. México

Septiembre 2023





“Remoción de zinc de un efluente del proceso de flotación de hierro por electrodiálisis”

Presenta:

Lucia Hernández Lavalle

COMITÉ TUTORIAL

<u>Dr. Jaime Cristóbal Rojas Montes</u> Director	 Firma
<u>Dr. Víctor Jesús Martínez Gómez</u> Asesor	 Firma
<u>Dr. Félix Alonso Alcázar Medina</u> Asesor	 Firma

C. Rafael Lucho Chigo
**Coordinador de la Maestría en
Sistemas Ambientales**

C. Francisco Javier Godínez García
**Jefa de la División de Estudios de
Posgrado e Investigación**

Durango, Dgo. México

Septiembre de 2023



Victoria de Durango, Dgo., a **18 / Septiembre / 2023**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 456 / 23.

ASUNTO: Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

C. LUCIA HERNÁNDEZ LAVALLE
No. DE CONTROL G13041317
P R E S E N T E .

De acuerdo al reglamento en vigor y tomando en cuenta el dictamen emitido por el jurado que le fue asignado para la revisión de su trabajo de tesis para obtener el **Grado de Maestra en Sistemas Ambientales**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

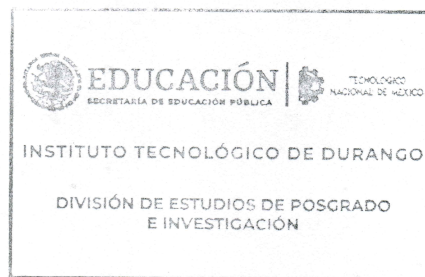
"Remoción de zinc de un efluente del proceso de flotación de hierro por electrodiálisis"

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

A T E N T A M E N T E .

Excelencia en Educación Tecnológica®
"La Técnica al Servicio de la Patria"

C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



FJGG'ammc.



Fecha de Inicio: 2018-12-21
Fecha de Cierre Ciclo: 2018-12-21
Fecha de Reapertura: 2019-01-01
Fecha de Terminación: 2019-12-31
RSC-957





Victoria de Durango, Dgo., a **18 / Septiembre / 2023**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 455 / 23.

ASUNTO: Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

C. LUCIA HERNÁNDEZ LAVALLE
No. DE CONTROL G13041317
P R E S E N T E .

Con base en el Reglamento en vigor y teniendo en cuenta el dictamen emitido por el Jurado que le fue asignado, se le autoriza a desarrollar el tema de tesis para obtener el **Grado de Maestra en Sistemas Ambientales** cuyo título es:

"Remoción de zinc de un efluente del proceso de flotación de hierro por electrodiálisis"

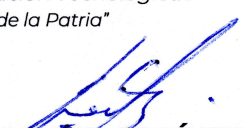
CONTENIDO:

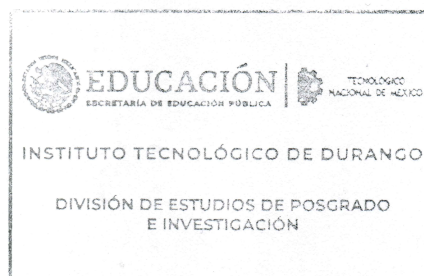
	RESUMEN
	ABSTRACT
CAPÍTULO I.	INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO II.	MARCO TEÓRICO
CAPÍTULO III.	MATERIALES Y MÉTODOS
CAPÍTULO IV.	RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN
CAPÍTULO V.	CONCLUSIONES
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Sin otro asunto en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE.

Excelencia en Educación Tecnológica®
"La Técnica al Servicio de la Patria"


C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



FJGG'ammc.



Fecha de edición: 06/10/2023
Fecha de última actualización: 06/10/2023
Fecha de validación: 06/10/2023
RSIC 957



Victoria de Durango, Dgo. a 02 de septiembre de 2023

Por este conducto se hace constar que la tesis denominada Remoción de zinc de un efluente del proceso de flotación de hierro por electrodiálisis, de la alumna Lucia Hernández Lavalle, con número de control 13041317, estudiante del programa de Maestría en Sistemas Ambientales, revisada por primera vez, se sometió al software Turnitin Similarity para ser examinado, en donde el reporte del software mencionado mostró un porcentaje de 19% de similitud general.

Con base en el reporte de Turnitin, al criterio ético y profesional del director de tesis y al área del programa, se considera que cumple con los criterios de originalidad.

Con base en lo anterior se emite el siguiente dictamen.

Sé autoriza dar inicio a los trámites de obtención de grado.

Atentamente,

Dr. Jaime Cristóbal Rojas Montes

Director de la Tesis

Vo.Bo.

Dr. Víctor Jesús Martínez Gómez

Asesor

Dr. Félix Alonso Alcázar Medina

Asesor

Cp

Alumno

Coordinación del programa

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

El (La) que suscribe Lucia Hernández Lavalle, mexicano (a),
mayor de edad y estudiante de la maestría/doctorado
en Sistemas Ambientales
con número de control 13041317, colaborador (a) en el
proyecto denominado:

"Remoción de zinc de un efluente del proceso de flotación
de Hierro por electrodiálisis", del cual se generó
la tesis: "Remoción de zinc de un efluente del proceso de
flotación de Hierro por electrodiálisis."

que fue desarrollada por el (la) suscrito (a). Declaro que tanto el proyecto como la tesis a
los que se hace mención fueron desarrollados con los elementos, materiales y recursos
humanos, proporcionados por el Tecnológico Nacional de México y (fuentes externas e
financiamiento, cuando sea el caso).

Por lo antes expuesto, **CEDO en toda propiedad y dominio los derechos patrimoniales y
reconozco como CAUSAHABIENTE a la: Secretaría de Educación Pública – Tecnológico
Nacional de México.**

Se extiende la presente en la Ciudad de Durango, Dgo., a los 19 días del mes de
octubre del año dos mil veinte y tres

Atentamente

Nombre y firma del estudiante

Lucia Hernández Lavalle
Lucia Hernández Lavalle



RESUMEN

La industria minero-metalúrgica representa una actividad primaria en México, sin embargo, en el procesamiento de minerales existe la problemática de la disposición final de sus efluentes. El zinc es uno de metales más comunes en la contaminación del agua, que se utiliza en una amplia variedad de procesos industriales. La electrodiálisis es una técnica electroquímica utilizada para la eliminación de iones metálicos, en donde, estos se separan de la solución acuosa mediante un proceso de transporte bajo la influencia de un campo eléctrico. En este trabajo se plantea la electrodiálisis como un proceso que, por sus características, permite remover iones metálicos de zinc en una solución mediante el uso de membranas de intercambio iónico. Para ello, es necesario conocer las mejores condiciones de densidad de corriente aplicada en el sistema, pH y velocidad de recirculación, así como la influencia de estas variables en la remoción de zinc en un efluente sintético y uno real proveniente de la industria procesamiento de minerales. Las pruebas de electrodiálisis se ejecutaron en una celda particionada de tres compartimentos con una membrana de intercambio catiónico y una de intercambio aniónico, esta celda cuenta con un sistema de recirculación para el electrolito diluido, como electrodos se emplean una placa de grafito como ánodo, y como cátodo una placa de acero inoxidable, para posteriormente determinar su concentración mediante análisis químico. A partir de los datos obtenidos se calcularon porcentajes de remoción total de zinc, de igual manera se realizó un análisis estadístico con la finalidad de determinar si existe alguna influencia significativa en las variables estudiadas y así sustentar los mejores parámetros de operación que se obtuvieron. También se hace una discusión desde una perspectiva de la termodinámica, que involucra la especiación que existe de zinc en este tipo de procesos electroquímicos. El porcentaje máximo de remoción de zinc con el efluente sintético fue 95.80% con variables de operación de densidad de corriente de 120 A/m^2 , una velocidad de recirculación de 30 mL/min y un pH de 6, mientras que con el efluente real el mejor porcentaje de remoción de zinc fue de 99.99% con variables de operación de densidad de corriente de 90 A/m^2 y un pH de 4.





ABSTRACT

The mining and metallurgical industry represents a primary activity in Mexico, however, in the processing of minerals there is the problem of the final disposal of its effluents. Zinc is one of the most common metals in water pollution, which is used in a wide variety of industrial processes. Electrodialysis is an electrochemical technique used for the removal of metal ions, where they are separated from the aqueous solution by a transport process under the influence of an electric field. In this work, electrodialysis is proposed as a process that, due to its characteristics, allows the removal of zinc metal ions in a solution through the use of ion exchange membranes. For this purpose, it is necessary to know the best conditions of current density applied in the system, pH and recirculation speed, as well as the influence of these variables in the removal of zinc in a synthetic effluent and a real one coming from the mineral processing industry. The electrodialysis tests were carried out in a three-compartment partitioned cell with a cation exchange membrane and an anion exchange membrane, this cell has a recirculation system for the diluted electrolyte, a graphite plate as anode and a stainless steel plate as cathode, to later determine its concentration by chemical analysis. From the data obtained, total zinc removal percentages were calculated, and a statistical analysis was performed to determine if there is any significant influence on the variables studied and thus support the best operating parameters obtained. A discussion is also made from a thermodynamic perspective, which involves the zinc speciation that exists in this type of electrochemical processes. The maximum percentage of zinc removal with the synthetic effluent was 95.80% with operating variables of current density of 120 A/m², a recirculation rate of 30 mL/min and a pH of 6, while with the real effluent the best percentage of zinc removal was 99.99% with operating variables of current density of 90 A/m² and a pH of 4.