

# Evaluación de la electrocoagulación para tratamiento de efluentes generados por una empresa de mantenimiento de motores

Eliana Manangón, Ernesto de la Torre y Alicia Guevara

*Departamento de Metalurgia Extractiva*

alicia.guevara@epn.edu.ec

## Resumen

La electrocoagulación es una operación que desestabiliza una emulsión y permite altos porcentajes de remoción de demanda química de oxígeno (DQO) y turbiedad. En el presente trabajo se evaluó la electrocoagulación como técnica de tratamiento no convencional de un efluente generado por una empresa de mantenimiento de motores y para la evaluación de la operación se midieron los parámetros: DQO, tensoactivos, sólidos suspendidos y totales, turbiedad y concentración de aluminio, cobre y cinc.

El efluente estudiado se caracterizó por ser altamente heterogéneo, así la DQO varió entre 10 500 y 14 700 mg/L. La turbiedad desde 619 NTU a 886 NTU. El rango de tensoactivos desde 86.6 mg/L a 221.6 mg/L. La concentración inicial de aluminio fue 87.9 mg/L, de cobre fue 123.5 mg/L y de cinc fue 13.2 mg/L. La concentración inicial de sólidos suspendidos fue 340 mg/L y la concentración de sólidos totales fue 10456 mg/L. En la investigación se establecieron los valores de las variables que influyen en la electrocoagulación para hacerla eficiente. El pH de operación que presenta mejores resultados es 9.7. La intensidad de corriente que se determinó como la más eficiente es de 1.8 A. Con esta intensidad de corriente se tiene una remoción de DQO de 32 %, remoción de sólidos suspendidos de 98.3 %, remoción de turbiedad de 97.4 % y remoción de aluminio 88 %, de cobre 87 % y de cinc de 99 %, El tiempo de residencia que requiere la operación es de 60 min.

**Palabras claves:** electrocoagulación, aceites usados, demanda química de oxígeno.

## Abstract

Electrocoagulation which is an unconventional operation to destabilize an emulsion and allows high removal of chemical oxygen demand (COD) and turbidity was studied. The technique was used to treat waste water generated by an engine maintenance company. The evaluation of operation was performed measuring the following parameters: COD, surfactants, total and suspended solids, turbidity and concentration of aluminum, copper and zinc.

The effluent studied was highly heterogeneous, and the COD that varied from 10500 mg/L to 14700 mg/L, turbidity ranging from 619 NTU to 886 NTU and surfactants from 86.6 mg/L to 221.6 mg/L. The initial concentration of aluminum, copper and zinc were 87.9 mg/L, 123.5 mg/L and 13.20 mg/L, respectively. The concentrations of suspended and total solids were 340 mg/L and 10456 mg/L, respectively. The investigation established the values of the variables that influence the electrocoagulation to make it efficient. The pH for maximum removals was 9.7 and the most efficient current intensity was 1.8 A. Using a current intensity of 1.8 A, the results were 32.0 % COD removal, 98.3 % suspended solids removal, 97.4 % turbidity removal, 88.7 % aluminum removal, 87.7 % copper removal and 99.9 % zinc removal. The residence time required for the operation is 60 min.

**Keywords:** electrocoagulation, used oil, chemical oxygen demand.

## 1 Introducción

Los efluentes generados por empresas de mantenimiento de motores están compuestos principalmente por una emulsión de aceites usados y agua que contiene metales pesados en altas concentraciones debido al desgaste de las piezas metálicas.

Los aceites usados son aceites de origen mineral que pierden sus propiedades de refrigeración o lubricación debido al uso en operaciones mecánicas. Estos aceites

sufren una degradación térmica y un aumento en la concentración de partículas suspendidas, por lo tanto su eficiencia disminuye y son renovados periódicamente, generando residuos peligrosos [1].

Este tipo de residuos líquidos se caracteriza por poseer elevadas concentraciones de materia orgánica persistente y metales pesados. Además, posee alta capacidad de esparcirse y penetrar en el suelo, lo que amenaza

tanto el agua superficial como el agua subterránea. En ríos y lagos, la capa de aceite no permite el ingreso de luz y oxígeno, lo que dificulta la depuración natural de estos sistemas de agua. Los peces son seriamente afectados debido a que las branquias son obstruidas por los residuos aceitosos [6].

Diferentes técnicas de tratamiento se han empleado para tratar este tipo de efluentes, entre ellas se tienen: coagulación química, sedimentación, tratamientos biológicos, microfiltración y destilación.

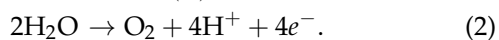
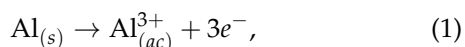
El empleo de una sola técnica de tratamiento no es suficiente para alcanzar los límites establecidos en las normas ambientales vigentes para líquidos de descarga, una combinación de técnicas es indispensable [3].

La electrocoagulación es una operación electroquímica mediante la cual las partículas suspendidas o disueltas, contenidas en el efluente se aglomeran debido a la presencia de iones cargados positivamente que desestabilizan la emulsión. Los iones positivos son proveídos por reacciones de oxidación iniciadas por corriente continua, la cual es aplicada a ánodos de sacrificio [1]. La electrocoagulación emplea electrodos que pueden ser de aluminio o hierro [5].

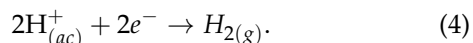
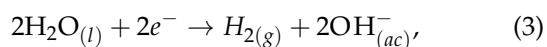
La circulación de corriente eléctrica inicia reacciones de óxido-reducción (redox) que generan iones metálicos ( $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{2+}$ ). Estos iones se combinan con los iones hidroxilo producidos por la electrólisis de agua y forman hidróxidos metálicos que favorecen la desestabilización de la emulsión y la formación de aglomerados de los sólidos en suspensión [1],[5].

Los aglomerados formados son separados por sedimentación y por flotación dependiendo de la densidad de los contaminantes.

En los electrodos de aluminio se presentan reacciones de óxido-reducción. En el ánodo, las reacciones de oxidación son:



En el cátodo, las reacciones de reducción son:



Los cationes de aluminio ( $\text{Al}_{(ac)}^{3+}$ ) reaccionan con los iones hidroxilo para formar hidróxidos y polihidróxidos [1],[5].

El hidróxido de aluminio es una especie amorfa, gelatinosa y menos soluble en agua, que posee una gran área de contacto por lo que adsorbe las partículas contaminantes [4].

Los polihidróxidos de aluminio actúan como coagulantes, se adsorben a las partículas y neutralizan las cargas de los coloides. La desestabilización es similar a la

que se consigue con coagulación química. Los coagulantes reducen la carga superficial de las micelas, causando una separación de las fases acuosa y oleosa [4],[2].

Las reacciones de óxido-reducción también generan pequeñas burbujas de hidrógeno y oxígeno que arrastran contaminantes de baja densidad hacia la superficie del cuerpo de agua, facilitando la remoción de estos. Las burbujas permiten una flotación de los contaminantes de baja densidad. Las burbujas de hidrógeno se adhieren a los coágulos formados por la electrocoagulación y son arrastrados a la superficie por flotación.

El objetivo de este estudio es evaluar la operación de electrocoagulación para tratar un efluente generado por una empresa de mantenimiento de motores, el cual consiste en una emulsión estable de aceites usados, tensoactivos y agua. Este estudio comprende la determinación de la influencia de las variables: pH, intensidad de corriente eléctrica y tiempo de residencia, en la eficiencia de remoción de DQO, turbiedad, tensoactivos, sólidos suspendidos y totales, aluminio, cobre y cinc.

## 2 Materiales y métodos

### 2.1 Materiales

Para evaluar la operación de electrocoagulación se empleó una muestra del efluente líquido generado por una empresa de mantenimiento de motores. La muestra se caracterizó por ser altamente heterogénea, por lo que parámetros como DQO, turbiedad, tensoactivos oscilaron en rangos amplios.

Para fijar el pH de operación se emplearon hidróxido de calcio 0.07 N y ácido sulfúrico de 0.01 N. Se emplearon 6 electrodos de aluminio con área efectiva de 240 cm<sup>2</sup>. La separación entre las placas fue 3.2 cm.

Se utilizó un reactor para electrocoagulación de capacidad 1.5 L de dimensiones 24 cm × 15 cm × 9.5 cm, un equipo rectificador de corriente, un medidor de corriente y voltaje PLUG IN, un medidor de pH HANNA 98121, un equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica AANALYST 300 y un equipo para medición de sólidos suspendidos HACH DR 2800.

### 2.2 Métodos

Las muestras fueron caracterizadas con la medición de los parámetros necesarios para la evaluación de la electrocoagulación. Estos fueron: demanda química de oxígeno DQO, tensoactivos, sólidos suspendidos, sólidos totales, turbiedad y concentración de los metales aluminio, cobre y cinc. Con los resultados obtenidos se determinaron las condiciones de pH, intensidad de corriente eléctrica y tiempo de residencia que permitan una remoción eficiente de los contaminantes mencionados.

### 2.2.1 Determinación de la influencia del pH en la remoción de turbiedad y sólidos totales

El potencial de hidrógeno es altamente influyente en los procesos de coagulación. En estudios anteriores relacionados con electrocoagulación como tratamiento para emulsiones de aceite en agua, se obtienen resultados exitosos con valores de pH entre 5 y 9 [3].

En este estudio se trabajó con valores de pH de 4.4, 6.0, 8.0, 9.0, 9.5, 9.7 y 10.0. Se evaluó la operación a partir del pH de la muestra original (4.4) y se probó valores de pH mayores pero cercanos a 9.0.

Para la realización de estos ensayos se instalaron seis electrodos de aluminio para permitir la circulación de corriente eléctrica y el adecuado contacto con la muestra de efluente tratado. El tiempo de residencia en el reactor para electrocoagulación fue de 90 min.

Una vez terminada la operación se tomaron muestras para analizar turbiedad y sólidos totales y seleccionar el valor de pH que permita las remociones más eficientes de estos parámetros.

### 2.2.2 Determinación de la influencia de la intensidad de corriente eléctrica empleada sobre la remoción de turbiedad, sólidos suspendidos, DQO y tensoactivos

Fue necesario establecer la mínima intensidad de corriente para alcanzar remociones eficientes de turbiedad, DQO, sólidos suspendidos, turbiedad y tensoactivos. Con este fin se varió la corriente eléctrica entre los valores 1.0, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0 y 2.2 A. Estos valores fueron seleccionados con base en los resultados de ensayos preliminares de evaluación de electrocoagulación como tratamiento para emulsiones con aceites usados en operaciones mecánicas (Bensadok et al., 2008). En los estudios realizados por Bukhari se emplearon valores de corriente entre 0.1 A y 1.0 A para efluentes que contenían una menor carga contaminante que la muestra que se trató en este estudio.

Se ajustó el valor de pH de la muestra a 9.7 debido a los resultados satisfactorios obtenidos en los ensayos realizados para determinar la influencia del pH en la operación de electrocoagulación. Se instalaron los seis electrodos de aluminio para permitir la circulación de corriente eléctrica y el contacto con la muestra. El tiempo de residencia fue de 90 min. Una vez terminada la operación se tomaron muestras para analizar los parámetros bajo evaluación.

### 2.2.3 Determinación de la influencia del tiempo de residencia sobre la remoción de sólidos suspendidos y concentración de metales aluminio, cobre y cinc a diferentes corrientes eléctricas de operación

El tiempo de residencia es una variable que debe ser establecida para reducir los costos de energía. Se realizaron pruebas en la cuales se mantuvo constante la corriente

eléctrica durante toda la operación. Los parámetros que se midieron fueron los sólidos suspendidos y la concentración de los metales aluminio, cobre y cinc. Los sólidos suspendidos se evaluaron en un equipo HACH DR 2800.

Las corrientes eléctricas de operación que se probaron fueron de 1.6, 1.8, 2.0, 2.2 A. Estos valores fueron seleccionados con base en los resultados obtenidos del estudio de la influencia de la intensidad de corriente eléctrica en la remoción de turbiedad, sólidos suspendidos, DQO y turbiedad.

Se ajustó el valor de pH de las muestras en 9.7 y se instalaron los seis electrodos de aluminio para permitir la circulación de corriente eléctrica y el contacto con la muestra.

Los ensayos tomaron un tiempo de 90 min, durante los cuales se tomó muestras de 5 mL cada 10 min. Con base en estos resultados se determinó el tiempo de residencia mínimo en el reactor para alcanzar altas remociones de sólidos suspendidos y metales pesados.

**Tabla 1.** Características de la muestra inicial y límites establecidos por norma vigente

Parámetro	Unidad	Rango de concentración	Norma*
DQO	mg/L	10500-14700	292
Sólidos totales	mg/L	10456	—
Sólidos suspendidos	mg/L	340	116
Turbiedad	NTU	619-886	—
Tensoactivos	mg/L	86.60-221.64	0.5
pH		4.4-4.6	5-9
Aluminio	mg/L	87.9	5.0
Cobre	mg/L	123.5	1.0
Cinc	mg/L	13.2	2.0

\* MDMQ

## 3 Resultados y discusión

### 3.1 Evaluación de la electrocoagulación

Las características de la muestra inicial del efluente, generado por una empresa de mantenimiento de motores se detallan en la Tabla 1.

Estos valores contrastan con los límites máximos permisibles para las descargas líquidas de actividades industriales, comerciales y de servicios en el alcantarillado, que establece la actual norma técnica de la ordenanza municipal 213 del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Todos los parámetros analizados en la muestra están fuera de los límites establecidos en la norma vigente.

### 3.1.1 Influencia del pH sobre la remoción de turbiedad y sólidos suspendidos

El parámetro que se midió como primera referencia de la eficiencia del proceso fue la turbiedad. En la Figura 1 se puede observar que se obtuvieron valores de remoción de turbiedad mínimos a un pH de 4.4, que es el pH inicial de la muestra. Por el contrario, a valores de pH básicos se obtuvieron remociones más altas de turbiedad. A un valor de pH de 9.7 se tuvo una remoción de turbiedad de 94.6 %. A pH 10.0, el porcentaje de remoción disminuyó a 91.1 %. Los resultados de este estudio se presentan en la Figura 1.

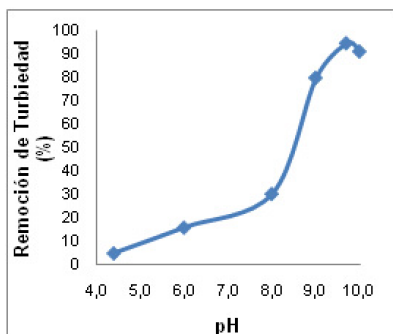


Figura 1. Porcentaje de remoción de turbiedad en función del pH

Adicionalmente, se evaluó la remoción de sólidos totales en función del pH. Estos resultados se muestran en la Figura 2.

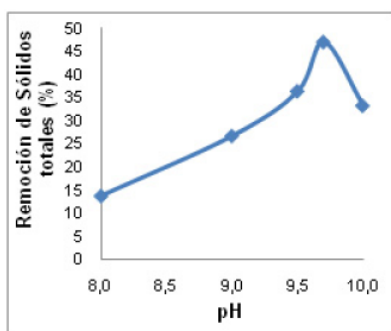


Figura 2. Porcentaje de remoción de sólidos totales en función del pH

El mayor porcentaje de remoción de turbiedad es 94.6 % a un pH de 9.7. En el mismo valor de pH se tiene la máxima remoción de sólidos totales que es de 47.0 %. La mínima remoción es de 15.7 % a un pH de 6.0. A pH 10.0, la remoción de sólidos suspendidos disminuye a 33.3 %.

### 3.1.2 Influencia de la intensidad de corriente eléctrica sobre la remoción de turbiedad, sólidos suspendidos, DQO y tensoactivos

En la Figura 3 se presentan los porcentajes de remoción de turbiedad y sólidos suspendidos en función de la corriente eléctrica de operación.

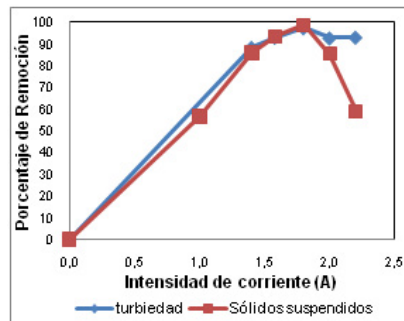


Figura 3. Porcentaje de remoción de turbiedad y sólidos suspendidos en función de la intensidad de corriente eléctrica de operación

En la Figura 3 se observa que la mayor remoción de sólidos suspendidos (98.3 %) se obtiene a la corriente de 1.8 A. El porcentaje de remoción de sólidos suspendidos y turbiedad aumenta al incrementar la corriente aplicada hasta llegar a 1.8 A, pero a corrientes eléctricas mayores, este porcentaje disminuye.

Estudios previos de electrocoagulación para tratamiento de aguas municipales alcanzan su máximo porcentaje de remoción de sólidos suspendidos (95.4 %) a una intensidad de corriente de 1 A. El mismo estudio concluyó que al incrementar la intensidad de corriente la remoción de sólidos suspendidos aumenta [2]. Este fenómeno se debe a que mientras aumenta la intensidad de corriente, la cantidad de iones aluminio producidos por las reacciones de óxido-reducción aumenta, y por lo tanto se forman más hidróxidos y polihidróxidos de aluminio que desestabilizan la emulsión.

Adicionalmente, se evaluó la remoción de tensoactivos y DQO de la muestra del efluente. Estos resultados se muestran en la figura 4.

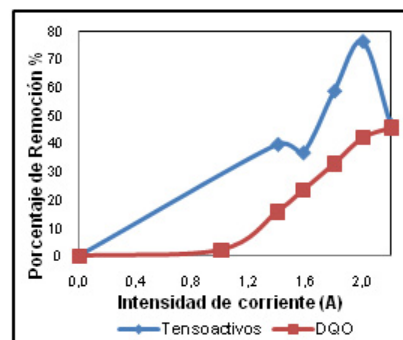


Figura 4. Porcentaje de remoción de tensoactivos y DQO a diferentes corrientes eléctricas de operación

En la Figura 4 se observa que a mayor cantidad de corriente aplicada se tiene un mayor porcentaje de remoción de DQO, siendo el mayor porcentaje el de 45.2 % a una corriente de 2.2 A.

Ensayos previos alcanzan porcentajes de remoción de aproximadamente 80.0 %, pero la DQO inicial es de 6700 mg/L (Cañizares et al., 2007). Debido a las elevadas concentraciones iniciales de DQO, sólidos suspendidos y totales presentes en la muestra inicial, los porcentajes de remoción alcanzados en este estudio son menores.

Estudios anteriores no presentan una evaluación de remoción de tensoactivos mediante la operación de electrocoagulación. En este estudio, la mayor remoción de tensoactivos es de 76.1 % a una corriente de 2.0 A.

### 3.1.3 Evaluación de la electrocoagulación en función del tiempo de residencia

Para evaluar la operación de electrocoagulación con respecto al tiempo, se emplearon los parámetros de sólidos suspendidos y la concentración de los metales aluminio, cobre y cinc a diferentes intensidades de corriente. La Figura 5 muestra la concentración de sólidos suspendidos presente a lo largo de cada ensayo.

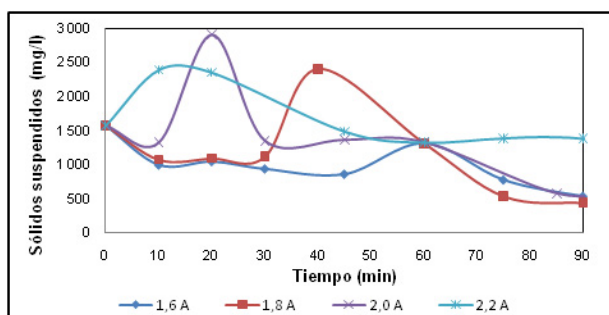


Figura 5. Sólidos suspendidos medidos durante las operaciones de electrocoagulación a diferentes corrientes eléctricas

En la Figura 5 se puede observar que la concentración más alta de sólidos suspendidos se presentó a un determinado tiempo de iniciada la electrocoagulación.

Tabla 2. Tiempo al que se obtuvo la máxima concentración de sólidos en suspensión en operaciones de electrocoagulación a diferentes intensidades de corriente

Corriente (A)	Tiempo (min)	Remoción de sólidos suspendidos a 90 min (%)
1.6	60	65.7
1.8	40	71.8
2.0	20	63.2
2.2	10	12.1

Una vez que el proceso de desestabilización de la emulsión empezó, se formaron aglomerados. Cuando los aglomerados alcanzaron un mayor tamaño empezaron a sedimentar. Por esta razón en la Figura 5 se puede observar que los sólidos en suspensión alcanzaron un máximo y luego disminuyeron. A una corriente de 1.8 A la máxima concentración de sólidos suspendidos se alcanza a los 40 min.

Los tiempos en que se logró la máxima concentración de sólidos en suspensión fueron diferentes para cada corriente aplicada y se muestran en la Tabla 2.

Se puede observar que el ensayo de electrocoagulación cuya corriente de operación fue de 2.2 A, presentó su mayor concentración de sólidos en suspensión en el menor tiempo, mientras que la electrocoagulación cuya corriente de operación fue de 1.6 A presentó su mayor

concentración de sólidos en suspensión a una hora de iniciada la operación.

También se pudo observar que al final de los 90 min de operación las muestras que alcanzaron las menores concentraciones de sólidos en suspensión fueron las tratadas con corrientes de operación de 1.6 A, 1.8 A y 2.0 A.

Mientras mayor sea el tiempo de operación, los resultados son mejores pero el costo de energía aumenta, por lo tanto se debe establecer el valor de intensidad de corriente con el cual se obtenga los mejores resultados y en el menor tiempo posible.

Para evaluar la efectividad de la electrocoagulación en remoción de metales pesados se realizaron pruebas aplicando diferentes valores de corriente. La concentración inicial de aluminio es de 87.9 mg/L, la de cobre es de 123.5 mg/L y la de cinc es de 13.20 mg/L.

Se tomaron muestras para análisis por espectrofotometría de absorción atómica y se determinó la concentración remanente de aluminio, cinc y cobre.

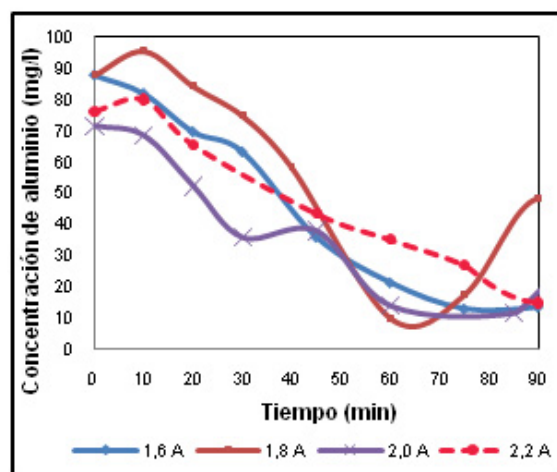


Figura 6. Concentración de aluminio en la muestra durante la operación de electrocoagulación a diferentes corrientes de operación

La Figura 6 muestra que la concentración de aluminio es influenciada por la cantidad de corriente aplicada en la electrocoagulación.

En las pruebas realizadas con diferentes corrientes de operación, la concentración de aluminio alcanza su mínimo valor a distintos tiempos. El ensayo de electrocoagulación con una corriente de 1.8 A fue la que alcanzó las menores concentraciones de aluminio (9.9 mg/L) en el menor tiempo (60 min).

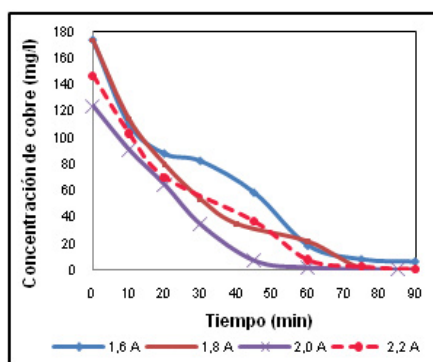
Después de 60 min, la concentración de aluminio aumentó debido a que la operación de electrocoagulación produjo iones aluminio por acción de la corriente eléctrica. Por lo tanto, para reducir los costos de operación debidos a consumo de energía el tiempo de residencia no debe ser mayor a 60 min.

Los porcentajes de remoción de aluminio más altos a lo largo de la operación y los tiempos a los que éstos se obtuvieron se detallan en la Tabla 3.

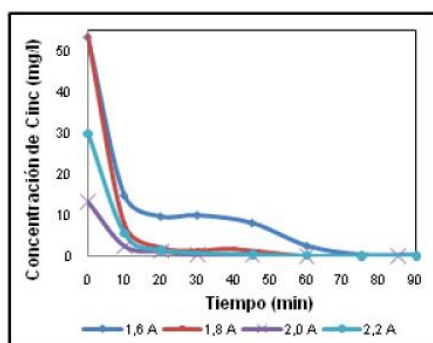
**Tabla 3.** Porcentajes de remoción de aluminio y el tiempo correspondiente para cada corriente aplicada

Corriente (A)	Tiempo de máxima remoción de Al (min)	Máxima remoción (%)	Remoción a los 90 min (%)
1.6	75	85.3	84.6
1.8	60	88.7	44.9
2.0	85	83.6	83.6
2.2	90	80.5	80.5

A continuación, en la Figura 7 se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de cobre remanente en la muestra en función del tiempo a diferentes intensidades de corriente.

**Figura 7.** Concentración de cobre en la muestra durante la operación de electrocoagulación a diferentes corrientes de operación

Como se puede observar en la Figura 7, la mínima concentración de cobre se alcanzó al finalizar la electrocoagulación, es decir a los 90 min de operación. Las remociones que se alcanzaron a este tiempo fueron mayores a 96.6%. Los porcentajes de remoción de cobre a los 60 min de operación oscilaron entre 89.6% y 98.5%.

**Figura 8.** Concentración de cinc en la muestra durante la operación de electrocoagulación a diferentes intensidades de corrientes de operación

En la Figura 8 se presentan gráficamente los resultados de la determinación de la concentración de cinc en la muestra, durante la operación de electrocoagulación a diferentes intensidades de corrientes de operación (1.6–2.2 A).

En las diferentes pruebas, la concentración de cinc disminuyó más del 70.0% durante los primeros 10 min de operación, después su concentración permaneció relativamente constante.

A los 90 min de operación los porcentajes de remoción de cinc fueron superiores a 99.7% y a los 60 min de operación fueron mayores a 95.5%.

## 4 Conclusiones

1. El pH es una de las variables más influyentes en la operación de electrocoagulación. El valor de pH que permite obtener remociones más eficientes de sólidos totales y turbiedad es de 9.7.
2. La intensidad de corriente que presentó las máximas remociones bajo las condiciones de pH 9.7 y 90 min de operación fue la de 1.8 A. Con esta intensidad de corriente se tiene una remoción de sólidos suspendidos de 98.8%, remoción de turbiedad de 97.4%, remoción de DQO de 32.9%, remoción de tensoactivos de 58.5%, remoción de aluminio de 44.9%, remoción de cobre de 99.7% y remoción de cinc de 99.9%.
3. Si bien a intensidades de corrientes mayores a 1.8 A los porcentajes de remoción de metales es mayor, se debe considerar otros parámetros como sólidos en suspensión y tiempo de residencia para establecer la intensidad de corriente más eficiente.
4. El tiempo de residencia establecido para la electrocoagulación que trabaja a pH 9.7 con una intensidad de corriente de 1.8 A es de 60 min porque en este tiempo se logran altos porcentajes de remoción de metales y de sólidos suspendidos. El porcentaje de remoción de aluminio fue 88.7%, de cobre fue 87.7% y de cinc fue 99.9%. Si la operación tuviera un tiempo de residencia mayor, la concentración de aluminio aumentaría afectando los resultados del tratamiento y se desperdiciaría energía.
5. La operación de electrocoagulación es una alternativa para tratamientos de efluentes que estén contaminados con altas concentraciones de metales, ya que se pueden obtener remociones de más del 90.0%.

## Referencias

- [1] Bensadok, K., Benammar, S., Lopicque, F., Nezzal, G., 2008. *Electrocoagulation of cutting oil emulsions using aluminium plate electrodes*. Elsevier, Journal of Hazardous Materials, 152, 423.
- [2] Bukhari, A., 2008. *Investigation of the electrocoagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater*. Elsevier, Bioresource Technology, 99, 914.

- [3] Cañizares, P., Martínez, F., Jiménez, C., Sáez, C., Rodrigo, M., 2008. *Coagulation and electrocoagulation of oil-in-water emulsions*. Elsevier, Journal of Hazardous Materials, 151, 44.
- [4] Cañizares, P., Martínez, F., Lobato, J., Rodrigo, M., 2007. *Break-up of oil-in-water emulsions by electrochemical techniques*. Elsevier, Journal of Hazardous Materials, 145, 233.
- [5] Casillas, H., Cocke, D., Gomes, J., Morkovsky, P., Parga, J., Peterson, E., 2007. *Electrocoagulation mechanism for COD removal*. Elsevier, Separation Purification Technology, 56, 204.
- [6] FIMCP-ESPOL, 2006. *Factibilidad del manejo ambientalmente correcto (MAC) de los residuos aceitosos en Guayaquil*. [http://www.basel.int/centers/proj\\_activ/tctf\\_projects/019.pdf](http://www.basel.int/centers/proj_activ/tctf_projects/019.pdf), (Octubre, 2008).
- [7] Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. *Norma Técnica de la Ordenanza Metropolitana 213*.