



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ELECTROCOAGULADOR APLICADO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA TESQUIMSA, PARA EL LABORATORIO DE QUÍMICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES DE LA UISEK

Grijalva M. González, Mariño D. Polo

Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional Sek, Quito-Ecuador

11 de Septiembre del 2014.

Resumen:

La electrocoagulación es un proceso de electrolisis y coagulación, en donde la energía eléctrica se transforma en reacciones químicas que desestabilizan las partículas contaminantes. Se construyó un electrocoagulador con el fin de dar tratamiento y disminuir los valores de los parámetros de contaminación de las aguas residuales de la empresa TESQUIMSA, encargada de la elaboración de productos para lavado y mantenimientos industriales. Aguas con alto contenido de tensoactivos y desengrasantes. Se evaluaron parámetros de contaminación del agua como DQO, Turbidez, pH, Temperatura y Conductividad Eléctrica, tanto antes y después del tratamiento, para analizar y verificar la eficiencia y el funcionamiento de éste equipo y tecnología relativamente nueva. El electrocoagulador construido también tiene por objetivo servir para fines pedagógicos en la Universidad Internacional Sek, especialmente en las carreras afines al tratamiento de aguas.

Dirección autores: Facultad de Ciencias Ambientales UISEK, Campus Miguel de Cervantes. Alberto Einstein, s/n y 5ta transversal, Quito. Ecuador

E-mail: ferdanielma19@gmail.com, mabegrigo@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El recurso agua se encuentra cada vez más limitado para una población mundial que se expande con rapidez. Hoy en día muchas regiones del planeta sufren la escasez de agua y aún peor la falta de acceso al servicio de agua potable. El panorama es tal que se estima que 1,1 billones de personas, el equivalente a una sexta parte de la población mundial, no tienen garantizado el acceso al agua potable y 2.2 billones no cuentan con servicios básicos de saneamiento. Entre tanto, la demanda de agua va en aumento en relación con el agua disponible y existe una sobreexplotación de las fuentes, además de contaminación, mal uso y desperdicio (Restrepo, A., Arango, A). La contaminación en los cuerpos de agua, debido al vertido de contaminantes y uso de ésta en la industria y actividades cotidianas, hacen urgente la investigación y aplicación de métodos capaces de depurar aguas residuales de distintos tipos, para reintegrarla en el ciclo industrial o natural, y así aportar en la gestión de éste preciado recurso.

La electrocoagulación ha surgido como una tecnología aplicada al tratamiento de aguas residuales, estudiándose por un largo período de aproximadamente 100 años. Funciona bajo el principio de la electrólisis, transformando energía eléctrica en reacciones de óxido-reducción y desestabilizando partículas contaminantes del líquido en cuestión.

El presente proyecto como su nombre lo indica se trató de la construcción de un electrocoagulador aplicado al tratamiento de aguas residuales de una empresa dedicada al mantenimiento y lavado industrial, aguas con alto contenido de tensoactivos y desengrasantes y evaluar los resultados de dichos tratamientos para observar si éste método de depuración es eficiente y podría convertirse en una alternativa. Estará destinado para el Laboratorio de Química de la Universidad Internacional SEK, para su uso pedagógico en las materias afines al tratamiento de aguas.

METODOLOGÍA

El diseño y construcción del electrocoagulador se basa en conocimientos y fundamentos teóricos generales ya establecidos con fin de lograr su funcionamiento, por tanto se aplica el método Inductivo-deductivo.

El electrocoagulador aplicado al tratamiento de aguas contaminadas es diseñado tomando en cuenta las necesidades pedagógicas e investigativas de los estudiantes y docentes de la Facultad, además el espacio físico del Laboratorio donde se ubicara el equipo. La selección de los materiales de construcción se basa en la factibilidad tanto económica y de disponibilidad en el mercado local. Se han tomado como referencia anteriores investigaciones que se han realizado al respecto para diseñar el presente equipo.

La funcionalidad y operatividad del equipo es tipo Batch, pues se puede adaptar a las características del contaminante y de su concentración, a su vez se determina y controla el volumen a tratar en un ciclo, así como el tiempo de retención y de reacción. Al ser el más simple y de bajo costo son los más utilizados a escala de laboratorio, debido al control y análisis de las condiciones dentro del reactor.

Entre las variables de diseño del equipo se consideraron las siguientes:

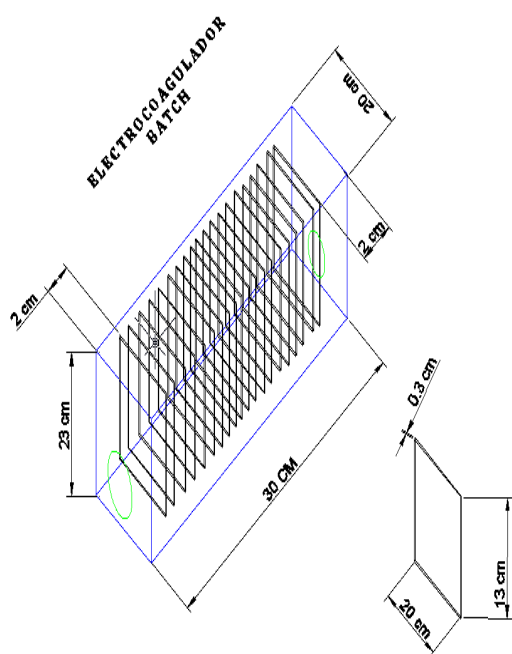
- Cuerpo del equipo
- Electrodos
- Distancia entre electrodos
- Número de electrodos
- Área de reacción
- Volumen de agua residual a tratar

Se establecieron las dimensiones del cuerpo del equipo de 30*20*23 cm, el material a utilizarse es el polimetilmetacrilato (PMMA), debido a sus propiedades físicas y químicas que presenta, el

PMMA es comúnmente conocido como cemento acrílico.

Los metales escogidos como electrodos son el aluminio y el hierro, ambos metales pueden ser utilizados como electrodos de sacrificio, según Faraday, debido a que en el proceso electrolítico desprenden en el agua los iones que desestabilizan los coloides, iones multivalentes como Fe^{3+} , Cu^{3+} y Al^{3+} . Se determinan las dimensiones de los electrodos de $20 \times 13 \times 0,3$ cm.

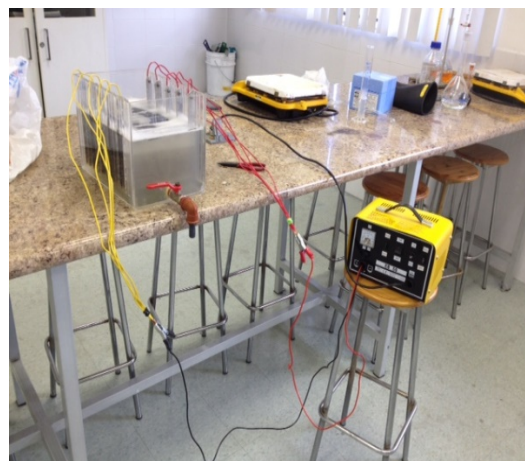
Las separaciones entre electrodos inferiores a 10 mm hace que los tratamientos sean prolongados, adicionalmente se presentan atascamientos por deposición de lodo sobre la superficie de los electrodos, impidiendo la circulación del medio acuoso y la generación de turbulencias que favorecen la coagulación dando como resultado bajas remociones de DQO (Arango & Garcés, 2007). Por lo cual, se establece una distancia mínima entre electrodo de 1 cm. Por ende, se deduce el número de electrodos a colocarse determinando 20 electrodos, 10 de aluminio y 10 de hierro y un área de reacción total de 5200 cm^2 . El volumen de agua residual a tratar en el electrocoagulador es de 8 litros



Elaborado por: Grijalva y Mariño (2014)

El equipo utilizado como fuente de alimentación de energía CB-50, el cual opera con entrada de 110[v] y flujo de corriente continuo, es decir las cargas o electrones suministrados por la fuente de energía fluyen siempre en el mismo sentido en un circuito eléctrico cerrado, moviendo del polo negativo hacia el positivo de una fuente de fuerza electromotriz (Caballero, 2008).

La fuente de alimentación de corriente continua regula voltajes de 6, 12 y 24 [v]. Además consta de un estabilizador de intensidad de corriente y para su medición de un amperímetro.



Las muestras de agua residual a ser tratada en el electrocoagulador diseñado y construido para la presente investigación, son tomadas en el ingreso a la planta de tratamiento de aguas de la empresa TESQUIMSA, se realizó un muestreo simple, el cual proporciona las características del agua residual en el momento en el que es muestreada. El agua residual proviene del lavado de tanques y maquinaria de la empresa.

Se tomó una muestra principal de 85 litros, con la cual se realizaron 10 electrocoagulaciones de 8 litros cada una, pues es la capacidad del equipo construido. Se realizaron 3 repeticiones del procedimiento antes descrito, ejecutando un total de 30 electrocoagulaciones, que proporcionan resultados para análisis estadísticos.

Es importante recalcar que las muestras principales fueron tomadas una por semana, por tanto las concentraciones de contaminantes del agua residual pueden variar debido a que la empresa TESQUIMSA cambia su proceso productivo dependiendo de los requerimientos de sus clientes o ventas. Las muestras son analizadas antes del tratamiento de electrocoagulación y después del mismo. Los parámetros de contaminación del agua residual seleccionados para determinar la efectividad del tratamiento y la funcionalidad del equipo construido son: demanda química de oxígeno (DQO), turbidez, pH, conductividad eléctrica y temperatura.

RESULTADOS

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Los siguientes resultados muestran la el promedio de remoción de **DQO**, para las tres muestras principales:

MUESTRA 1, SEMANA 1				
DÍA	DQO INICIAL (ppm)	DQO FINAL (ppm)	DIFERENCIA	EFICIENCIA DE
PROMEDIO	2174	636,5	-1537,5	70,7228338
MUESTRA 2, SEMANA 2				
DÍA	DQO INICIAL (ppm)	DQO FINAL (ppm)	DIFERENCIA	EFICIENCIA DE
PROMEDIO	2623	1067	-1556	59,3191533
MUESTRA 3, SEMANA 3				
DÍA	DQO INICIAL (ppm)	DQO FINAL (ppm)	DIFERENCIA	EFICIENCIA DE REMOCIÓN
PROMEDIO	1862	542,7	-1319,3	70,86

Una remoción de aproximadamente 1500 ppm de DQO.

TURBIDEZ

Los siguientes resultados muestran el promedio de remoción de **Turbidez**:

MUESTRA 1, SEMANA 1				
DÍA	TURBIDEZ INICIAL	TURBIDEZ FINAL	DIFERENCIA	EFICIENCIA DE
PROMEDIO	89,6	60,1	-29,5	32,8828079
MUESTRA 2, SEMANA 2				
DÍA	TURBIDEZ INICIAL	TURBIDEZ FINAL	DIFERENCIA	EFICIENCIA DE
PROMEDIO	103,7	72,1	-31,6	30,3046837
MUESTRA 3, SEMANA 3				
DÍA	TURBIDEZ INICIAL	TURBIDEZ FINAL	DIFERENCIA	EFICIENCIA DE REMOCIÓN
PROMEDIO	82,4	48	-34,4	41,7472045

En promedio se puede observar una disminucion de turbidez de alrededor de 31 NTU

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Los siguientes resultados muestran el promedio de la variación de **CE**, para las tres muestras principales:

MUESTRA 1, SEMANA 1 (TENSOACTIVOS)			
DÍA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA INICIAL	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA FINAL	DIFERENCIA
PROMEDIO	1090,2	1186,8	-96,6
MUESTRA 2, SEMANA 2 (ACEITES Y GRASAS)			
DÍA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA INICIAL	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA FINAL	DIFERENCIA
PROMEDIO	1492,2	1813,5	-321,3
MUESTRA 3, SEMANA 3 (TENSOACTIVOS)			
DÍA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA INICIAL	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA FINAL	DIFERENCIA
PROMEDIO	1039,3	1354,4	-315,1

pH

Los siguientes resultados muestran el promedio de la variación de **pH**, para las tres muestras principales:

MUESTRA 1, SEMANA 1 (TENSOACTIVOS)			
DÍA	pH INICIAL	pH FINAL	DIFERENCIA
PROMEDIO	5,5217	10,58	-5,0583
MUESTRA 2, SEMANA 2 (ACEITES Y GRASAS)			
DÍA	pH INICIAL	pH FINAL	DIFERENCIA
PROMEDIO	5,4649	10,5039	-5,039
MUESTRA 3, SEMANA 3 (TENSOACTIVOS)			
DÍA	pH INICIAL	pH FINAL	DIFERENCIA
PROMEDIO	5,71	9,94	-4,23

El pH, en todos los casos aumenta en aproximadamente 5, debido a la generación de iones hidrógeno generados durante el tratamiento.

TEMPERATURA

Los siguientes resultados muestran el promedio de la variación de **temperatura**, para las tres muestras principales:

MUESTRA 1, SEMANA 1 (TENSOACTIVOS)			
DÍA	T° INICIAL	T° FINAL	DIFERENCIA
PROMEDIO	17,41	20,05	-2,64
MUESTRA 2, SEMANA 2 (ACEITES Y GRASAS)			
DÍA	T° INICIAL	T° FINAL	DIFERENCIA
PROMEDIO	17,43	19,99	-2,56
MUESTRA 3, SEMANA 3 (TENSOACTIVOS)			
DÍA	T° INICIAL	T° FINAL	DIFERENCIA
PROMEDIO	18,3	20,57	-2,27

La temperatura aumenta en los tres casos, alrededor de 2,4 °C debido a la inducción de corriente eléctrica que se transforma en calor.

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES:

- La densidad de corriente dependen del número de electrodos utilizados durante la electrocoagulación y la intensidad de corriente aplicada desde la fuente de energía. Durante las pruebas de funcionamiento de la presente investigación se mantuvieron constantes los números de electrodos, por ende el área de reacción, y la intensidad de corriente, obteniendo resultados favorables en cuanto a remoción de DQO y turbidez de las aguas residuales de la empresa TESQUIMSA.
- Las variables de funcionamiento u operación experimentales del equipo construido se determinaron según la capacidad de las instalaciones eléctricas del Laboratorio donde el electrocoagulador es instalado y las bases teóricas aplicadas para el cálculo de las mismas, por lo cual se establecieron 6[V], 20[A] y 30 minutos como variables usadas para ésta investigación.
- Con la finalidad de no causar daños a los equipos del Laboratorio de la Facultad de Ciencias Ambientales se deduce por medio de pruebas experimentales que la fuente de alimentación de energía debe operar con corriente continua.
- La instalación adecuada del equipo antes de ser utilizado es de suma importancia, de no ser así puede ser un riesgo para el operador y las instalaciones, pues cualquier chispa o corto circuito puede causar la explosión del hidrogeno generado durante la electrolisis del agua residual. Por lo cual se realizó un manual de funcionamiento del electrocoagulador para evitar lo antes mencionado, donde se detallan el correcto uso, manipulación y mantenimiento preventivo del equipo.
- Durante la fase de operación y experimentación, se observó un desgaste

del ánodo de aluminio, mientras que el cátodo de hierro permanece intacto.

- La efectividad del electrocoagulador para la muestra 1 (tensoactivos) fue comprobada por medio del análisis físico químicos del DQO y turbidez obtenidos antes y después de la electrocoagulación, donde se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO del 70,72% y un porcentaje de remoción de turbidez del 32,33%.
- La efectividad del electrocoagulador para la muestra 2 (aceites y grasas) fue comprobada por medio del análisis físico químicos del DQO y turbidez obtenidos antes y después de la electrocoagulación, donde se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO del 50,32% y un porcentaje de remoción de turbidez del 30,30%.
- La efectividad del electrocoagulador para la muestra 3 (tensoactivos) fue comprobada por medio del análisis físico químicos del DQO y turbidez obtenidos antes y después de la electrocoagulación, donde se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO del 70,86% y un porcentaje de remoción de turbidez del 41,74%.

RECOMENDACIONES:

- El operador del equipo debe usar guantes dieléctricos para salvaguardar su salud e integridad física.
- Antes de empezar cada ensayo lijar los terminales de conexión eléctrica del electrodo para disminuir la resistencia eléctrica en los electrodos, ya que estos se cubren de óxido y sólidos flotantes secos.
- Después de realizar las pruebas experimentales lavar el equipo de electrocoagulación con detergente, de tal forma que se retire la capa antioxidante de los electrodos.
- Se debe operar la fuente de energía con sumo cuidado, utilizando guantes

dieléctricos y realizar las conexiones eléctricas con la fuente de energía apagada y desconectada.

- Establecer futuros proyectos de investigación que deseen continuar con el presente estudio.
- Tomar en cuenta un proceso posterior a la electrocoagulación para neutralización de pH, dependiendo del punto receptor en donde se descargarán las aguas tratadas, puesto que la electrocoagulación aumenta el pH de las aguas y esto podría afectar el ecosistema del punto receptor.
- Se recomienda realizar una investigación sobre el tratamiento de los lodos derivados del tratamiento por electrocoagulación, puesto que están formados por contaminantes y no pueden ser descargados directamente.
- Para futuras investigaciones de tratamiento de aguas a nivel industrial se recomienda adaptar el equipo para que funcione con un flujo de entrada continuo, ya que éste es tipo batch.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Arango, A., & Garcés, F. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Revista Universidad EAFIT*, 56- 67.
- ❖ Atkins, P. (2005). *The elements of Physical Chemistry*. Nueva York: WH Freeman and Company.
- ❖ Atlas, R., & Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Chicago: Westley.
- ❖ Caballero, J. (2008). Corriente continua y alterna. *Electrosector*, 70-76.
- ❖ Cabildo, P., Cornago, P., Esolástigo, C., Esteban, S., Lopez, C., & Saenz, D. (2013). *Bases químicas del Medio Ambiente*. Madrid: Universidad Nacional.
- ❖ Chang, R. (2002). *Química*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL.
- ❖ Chemiller, P. (2005). *Industrialización de la construcción*. Barcelona: Editores Tecnicos Asociados S.A.
- ❖ Correa, C. (2004). *Fenómenos Químicos*. Medellín: Universidad EAFIT.
- ❖ Daub, W., & Seese, W. (2003). *Quimica*. Claremont.
- ❖ Groover, M. (2000). *Fundamentos de Manufctura Moderna*. Mexico: PEARSON.
- ❖ Hernandez, S. (2011). *investigacion sobre procesos avanzados de tratamiento y depuracion de aguas mediante electrocoagulación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- ❖ La guía Química. (s.f.). Recuperado el 15 de Julio de 2014, de <http://quimica.laguia2000.com/general/celdas-electroquimicas>
- ❖ Lower, S. (2004). Chemical reactions at an electrode, galvanic and electrolytic cells, *Electrochemistry*. Simon Fraser University, 35-38.
- ❖ Maron, S., & Prutton, C. (1994). *Fundamentos de Físico- Química*. Mexico: Limusa Noriega Editores.
- ❖ Maron, S., & Prutton, C. (1994). *Fundamentos de FISICOQUÍMICA*. México: LIMUSA.
- ❖ Máximo, A., & Alvarenga, B. (2002). *Física General*. Mexico: Oxford.
- ❖ Mollah, Y. (2001). Electrocoagulation Science and applicatins. *Journal of Hazardous Materials*, 29-41.
- ❖ Norman, G., & Streiner, D. (1998). *Bioestadística*. Harcourt Brance.
- ❖ Pantoja, E. (2012). *APLICACIÓN DE LA ELECTROCOAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN SOBRE EL TRATAMIENTO DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINAS DE CARBÓN*. Santiago de Cali: UNIVERSIDAD DEL VALLE.
- ❖ Polo, D., Gómez, S., Prashar, S., & Fajardo, M. (2010). *Aplicaciones de nuevos complejos metaloceno en polimerización de olefinas*. Madrid: Editorial Dykinson.
- ❖ Ramirez, T. (2010). *Electroquímica, flotación y electricidad*.
- ❖ Restrepo, A., Arango, A., & Garcés, F. (2006). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción mas limpia*, 59- 77.
- ❖ Ríos, N. (2006). *REMOCIÓN DE AMONIO Y DE METALES PESADOS DE LOS LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO “LA ESMERALDA” DE LA CIUDAD DE MANIZALES POR ELECTROCOAGULACIÓN*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- ❖ Romero, J. (2002). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de ingeniería.
- ❖ Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., & Marquez, R. (2007). *Perspectivas sobre la*

conservación de ecosistemas acuáticos.

Mexico: Universidad Michoacana.

- ❖ Silberberg, M. (2002). Química General. New York: McGraw- Hill.
- ❖ TESQUIMSA. (2014). Manual de Sistema Integrado de Gestion TESQUIMSA. Quito.
- ❖ Vassos, B., & Ewing, G. (1980). Electroquímica analítica. México: Editorial Limusa.
- ❖ Whitten, K. W. (2006). QÍMICA GENERAL. México: MCGRAWHILL.