



Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y
Red Académica Iberoamericana Local-Global
Indexada en IN-Recs (95 de 136), en LATINDEX (33 DE 36), reconocida por el DICE, incorporada a la
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.

Vol 9. N°26

Junio 2016

www.eumed.net/rev/delos/26

APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL TEXTIL

Ing. Angel Guamán Mendoza¹
aguaman41@yahoo.es
Mariela Guamán Z.
maryteffi@yahoo.es
Ing. Carlos Álvarez Pacheco
calvarezp@yahoo.es
Ecuador

CONTENIDO

Resumen	2
Abstract	2
1 Introducción.....	3
2. Metodología	4
2.1 Consumo de agua	4
2.2 Prueba de jarras.....	4
2.3 Prueba de filtrado.....	5
3 Diseño y construcción de una celda electrolítica o reactor de electro coagulación de ciclo fijo con capacidad de 20 litros	5
4 Diseño y construcción de un reactor de electrocoagulación de ciclo continuo	7
5 Resultados de experimentos realizados con el sistema de ciclo continuo.....	9
6 Conclusiones.....	13
7 Bibliografía	14

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Ecuador.

RESUMEN

La industria de lavado y tinturado de prendas de vestir emplea para sus procesos gran cantidad de agua, determinándose un consumo de 60 a 70 litros por cada kilogramo. Por otra parte al final del cada proceso se convierte en agua residual contaminada, con residuos de sales, almidones, ácidos, peróxidos, enzimas, colorantes, piedra pómez y otros contaminantes de variadas características. El problema principal es la descarga del agua contaminada a los cuerpos hídricos, provocando una alteración de las condiciones normales, siendo los impactos ambientales muy negativos debido a que en la mayoría de los casos el agua es utilizada para el riego en zonas agrícolas y para el consumo humano en otras. En tal virtud es de vital importancia bajar los niveles de contaminación antes de que sean descargadas o buscar la manera de poder reutilizar el agua en el proceso de lavado y tinturado. Varios autores manifiestan que los procesos de tratamiento convencional no son efectivos para tratar aguas residuales de la industria textil, mientras que la efectividad del principio de electrocoagulación constituye una excelente opción para la degradación de una gran cantidad de contaminantes y la remoción del color que es un parámetro determinante si se quiere reutilizar el agua. El artículo se refiere a una serie de actividades cuasi experimentales llevadas a efecto, con diferentes tipos de celdas electrolíticas, en las que se evalúan los principales parámetros a tomarse en cuenta en el diseño de un reactor de electrocoagulación, cuyos resultados permitieron identificar la mejor opción para la reducción de contaminantes y la clarificación del agua. Los resultados se evidencian mediante datos cuantitativos, curvas de comportamiento de variables, ilustraciones fotográficas como respaldo de las conclusiones y recomendaciones expuestas.

Palabras clave: Agua residual, reactor de electrocoagulación, conductividad, densidad de corriente, caudal, velocidad.

ABSTRACT

The washing and dyeing industry garment processes used for their determined lot of water consumption of 60 to 70 liters per kilogram. Moreover at the end of each process it becomes polluted wastewater with salt residues, starches, acids, peroxides, enzymes, dyes, pumice and other contaminants from various characteristics. The main problem is the discharge of contaminated water to water bodies, causing an alteration in normal conditions, being very negative environmental impacts because in most cases water is used for irrigation of agricultural areas and for other human consumption. As such it is vital to lower pollution levels before they are discharged or find ways to reuse water in the process of washing and dyeing. Several authors state that processes conventional treatment are not effective in treating wastewater from the textile industry, while the effectiveness of the principle of electrocoagulation is an excellent choice for degradation of a large amount of pollutants and the removal of color is a determining parameter if

you want to reuse water. The article refers to a series of quasi-experimental activities carried effect, with different types of electrolytic cells in which the main parameters to be taken into account in the design of a reactor electrocoagulation are evaluated, the results helped identify the best option for reducing pollutants and water clarification. The results are evidenced by quantitative data, curves behavior variables, photographic illustrations in support of the findings and recommendations.

Keywords: Wastewater, electrocoagulation reactor, conductivity, current density, flow, speed.

1 INTRODUCCIÓN.

En el Ecuador, en las provincias de Pichincha, Guayas y Tungurahua se asientan el mayor número de establecimientos del sector textil, distribuidos en tres grandes grupos: Manufactura, Comercio y Servicios. Pichincha (27%), Guayas (17%), Tungurahua (8,1%), Azuay (7,5%) e Imbabura (4,5%) Identificándose 4.054, establecimientos dedicados a las actividades de Servicios, de los cuales 1783 se dedican al servicio de lavado y tinturado de prendas de vestir (INEC, 2012).

Según un estudio realizado por la empresa Vicuña textil en la actualidad en el cantón Pelileo existen 58 lavanderías catastradas en el Departamento de Gestión Ambiental del Gobierno Municipal (Vicunha Textil, 2010:12-16).

La presente investigación se realiza durante el período 2012- 2015 en lavanderías de prendas de vestir de la provincia de Tungurahua, Ecuador. La metodología aplicada está relacionada con la investigación bibliográfica, de campo y cuasi experimental.

Se plasman observaciones, mediciones, análisis de parámetros, comparación de resultados con estándares recomendados en las normas de control ambiental ecuatorianas.

Luego de efectuar una serie de experimentos se determina que el principio de electrocoagulación es muy recomendable para la remoción de una amplia gama de contaminantes pero especialmente del color.

Se determina el consumo promedio de agua, utilizada por una empresa para evaluar el impacto a la comunidad.

Con la finalidad de comprobar la eficacia del tratamiento convencional se realiza una prueba de filtrado y la prueba de jarras.

Luego se practican una serie de experimentos en dos tipos celdas electrolíticas o reactores de electrocoagulación diseñados y contruidos para el estudio, la primera de tipo estacionario y la segunda con un sistema de flujo continuo.

Finalmente se procesan los datos y se registran los resultados y conclusiones.

2. METODOLOGÍA

2.1 Consumo de agua

Para la determinación del consumo de agua se realiza mediante tres métodos:

- Medición directa a pie de máquina
- Utilizando el caudalímetro
- Mediante aforo volumétrico

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Caudal promedio

MÉTODO	Q LIT/S
Medición directa	1,677
Medición con caudalímetro	1,7
Aforo volumétrico	1,76
Caudal promedio	1,7123

La tabla 1 muestra el promedio de los tres métodos aplicados para determinar el caudal promedio. Considerando que una hora tiene 3600 segundos se tiene un consumo de 6164,28 litros por hora, por tanto el consumo de agua en una jornada de 8 horas es de 49,314 m³, si se establece un consumo de 200 litros por día se podría abastecer a unas 250 personas.

El peso total de prendas por día es de 762,43 kg. Por lo tanto el consumo de agua es de 64,68 litros de agua por kg de ropa procesada.

Es importante mencionar que estos datos justifican el estudio de procedimientos para buscar métodos de descontaminación y clarificación del agua con fines de rehuso.

2.2 Prueba de jarras

La prueba de jarras se realiza para determinar la efectividad del tratamiento convencional.

Equipos y Materiales:

Muestra compuesta de 1000ml de agua

Solución de poli cloruro de aluminio a 10 ppm

6 jarras de 1000 ml

Máquina Martex



Figura. 1. Formación de flóculos (prueba de jarras)

Como se puede observar en la figura 1 el resultado de floculación es muy importante, observándose flóculos lo suficientemente grandes, que permitirán la remoción de la mayoría de contaminantes, sin embargo el color se mantiene.

2.3 Prueba de filtrado

Se utilizó una muestra de agua cruda, una probeta de ensayo de 100 ml., una probeta de ensayo de 50 ml., papel filtro 1300/80, el procedimiento seguido fue el siguiente: llenado la probeta de ensayo hasta 100 ml con agua, colocación del papel filtro en forma de cono en la probeta de ensayo, vertimos el agua cruda, reposo durante 60 minutos.



Figura. 2. Prueba de filtrado

Luego del ensayo se observa que el agua filtrada aún tiene una coloración muy fuerte, por lo tanto no se realizan mediciones de parámetros por considerar que el tipo de filtro, no aporta para la remoción del color.

3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA ELECTROLÍTICA O REACTOR DE ELECTRO COAGULACIÓN DE CICLO FIJO CON CAPACIDAD DE 20 LITROS

Datos preliminares

- Celda de cristal de 30x30x30 cm y 6mm de espesor
- 6 electrodos de aluminio de (27x4x1) cm.
- El espacio entre los electrodos en la distribución es de 4cm

- Fuente de poder de corriente continua de 4 amperios y 12 Voltios

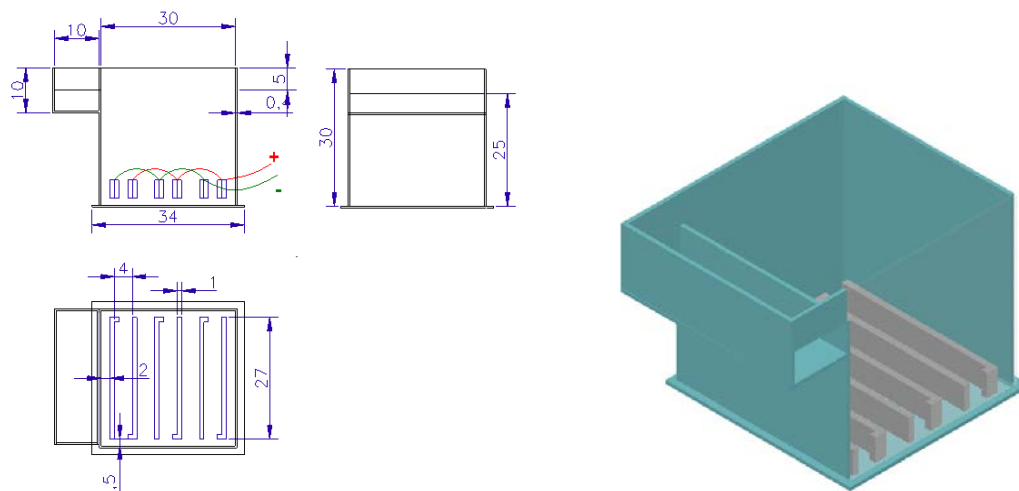


Figura 3. Modelo bidimensional y tridimensional

La Figura 3, representa el modelo en dos y tres tridimensional de una celda electrolítica construida con fines experimentales, cabe resaltar que la disposición de los electrodos influye significativamente, la distancia de entre ellos que influye en el consumo de corriente ya que al aumentar la distancia aumenta la resistencia y debido al volumen del agua se requiere un número mayor de electrodos, por otra parte es necesario considerar la conductividad de corriente tanto de los electrodos como del agua a tratar, además al utilizar electrodos de hierro se generan óxidos, los mismos que influyen negativamente en la eliminación del color del agua con fines de rehuso mientras que los electrodos de aluminio requieren de mayor energía eléctrica.



Figura 4.- Resultados

En la figura 4 muestra el estado de clarificación a la izquierda luego de 10, de 20, de 30 y de 35 minutos de exposición en una celda en la que el líquido a tratar se encuentra en reposo.

Sin embargo es importante indicar que el flujo de descarga de agua residual es continuo lo cual obliga a que el sistema de tratamiento también lo sea. Por lo tanto que el tratamiento se ejecute mientras el agua pasa por el reactor de electrocoagulación en un tiempo determinado, a una velocidad adecuada y con un caudal controlado (Sánchez, 2010).

4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN DE CICLO CONTINUO

Con fines de estudio se utilizan electrodos de hierro en el cátodo y electrodos de aluminio en el ánodo

Datos:

- Tiempo de retención= 10 minutos
- Medidas de la tina en vacío= $8,0 * 3,5 * 2,5$ dm = 70dm³
- Nivel máximo de agua 2,1 dm
- Volumen de los electrodos de hierro (cátodos)= $3,2 * 2,1 * 0,06$ = 0,38275 dm³
- Volumen de los electrodos de aluminio (ánodos)= $3,2 * 2,1 * 0,08$ cm = 0,509843dm³
- Distancia entre electrodos= 2cm= 0,2dm
- Número de electrodos= 10 c/u
- Conductividad media del agua residual $k = 6368 \mu\text{S/cm}$

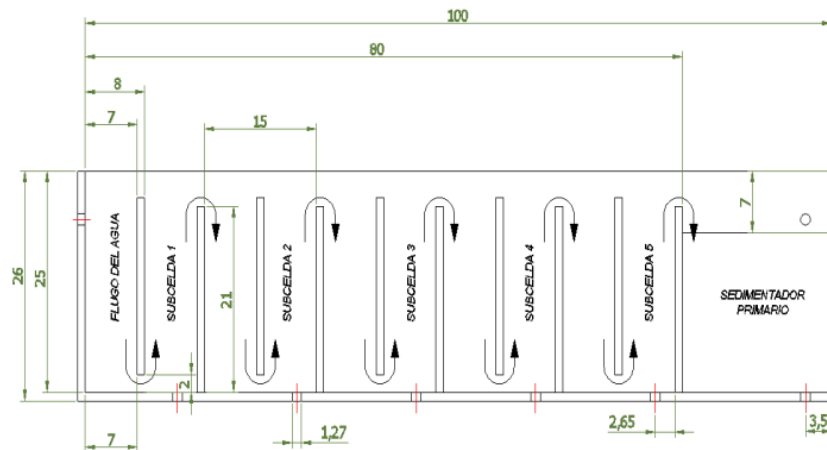


Figura. 5. Vista lateral, de la celda de ciclo continuo

El reactor de electrocoagulación está constituido por cinco subceldas, las mismas que tienen un sistema de comunicación de tal manera que se provoca un movimiento descendente ascendente del agua, la misma que al pasar entre los electrodos recibe el ataque electroquímico que provoca la electrocoagulación y consiguiente floculación de los contaminantes que posteriormente se sedimentarán en el tanque de sedimentación (Arango & Giraldo, 2007:56-67).



Figura 6. Sistema de electrocoagulación a escala de laboratorio

La figura 6 muestra la estructura básica del sistema de tratamiento de agua residual textil a escala de laboratorio el mismo que está constituido por un tanque ecualizador (1), el reactor propiamente dicho en el que se han ubicado 5 llaves para estudiar el comportamiento del sistema en cada sub-celda (2) y el tanque de sedimentación (3), además de éstos se cuenta con una fuente de poder de 50 amperios y voltaje variable de 6 a 60 voltios.

En éste sistema se realizan una serie de experimentaciones entre los cuales se mencionan los principales:



Figura 7. Experimentación con tinturado directo



Figura 8. Experimentación con tinturado negro sulfuroso



Figura 9. Experimentación con tinturado reactivo

Las imágenes muestran el principio se cumple en todos los casos, siendo el tinturado reactivo el proceso que presenta mayor dificultad.

5 RESULTADOS DE EXPERIMENTOS REALIZADOS CON EL SISTEMA DE CICLO CONTINUO

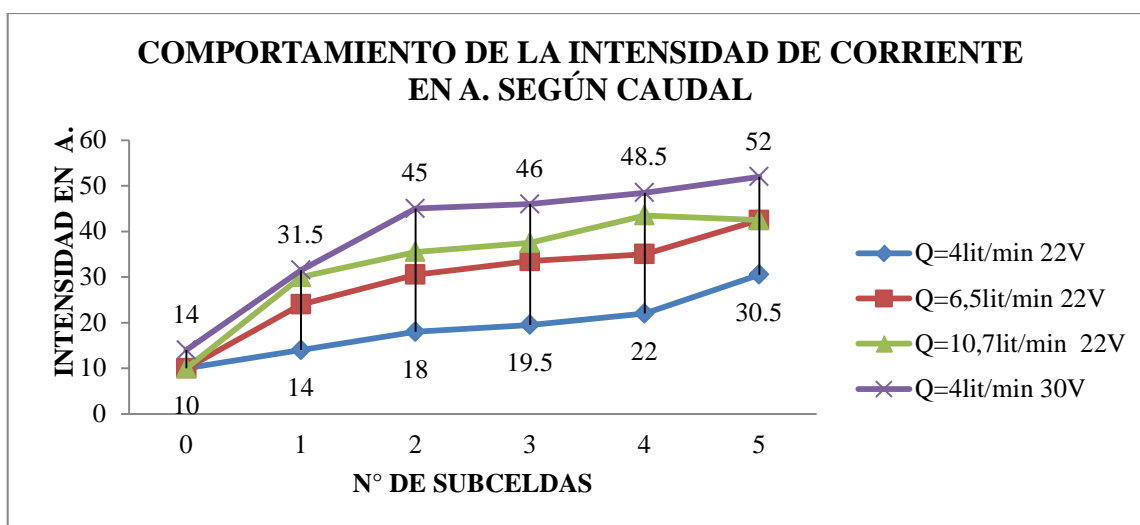


Figura 10. Intensidad de corriente según caudal y voltaje

La intensidad de corriente incrementa al incrementar el caudal, indudablemente a mayor carga contaminante mayor requerimiento de energía.

Por otra parte al aumentar el voltaje de entrada, incrementa proporcionalmente la intensidad de corriente lo cual indica que se eleva la potencia.

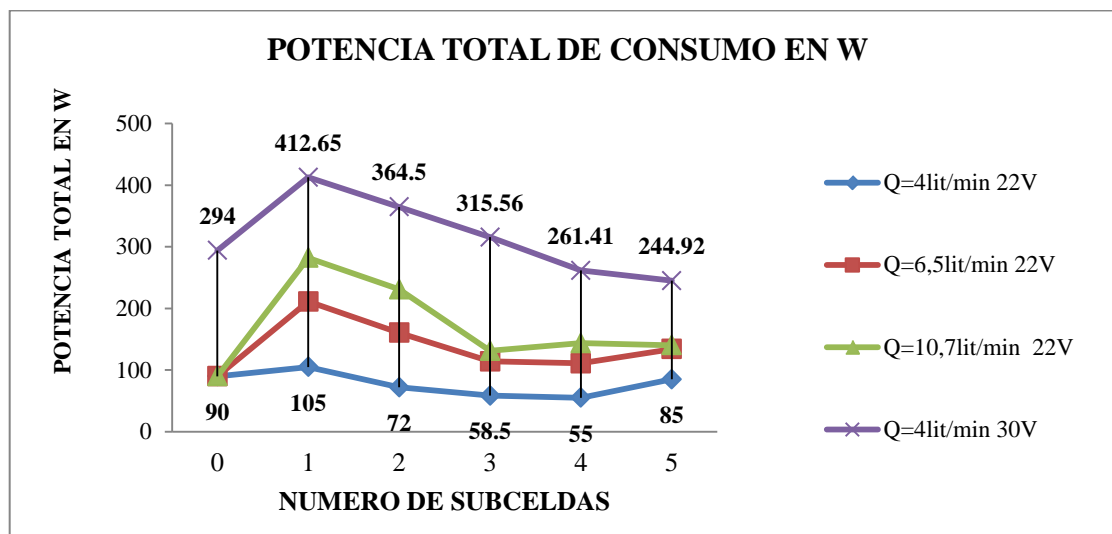


Figura 11. Comportamiento de la potencia

En la ilustración se observa que la potencia eléctrica, alcanza su máximo valor en la primera subcelda, es decir en el arranque del proceso, luego a pesar de que la intensidad aumenta como el voltaje disminuye, la potencia baja su valor inicial hasta estabilizarse, según la carga en proceso.

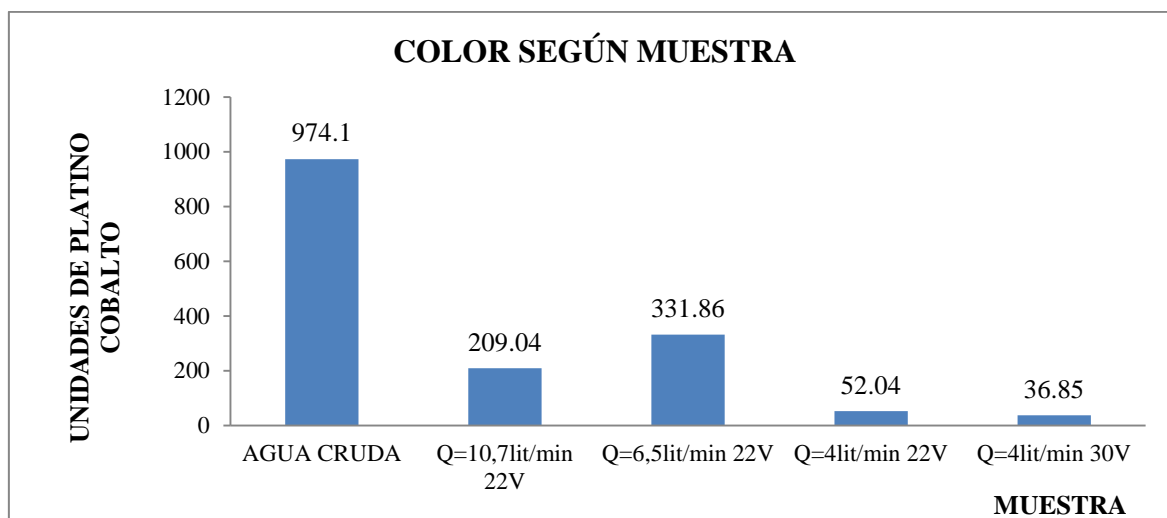


Figura 12. Remoción del color

La Figura 12 indica que el color baja de 974,1 unidades de platino cobalto a 36,85 con un voltaje de entrada de 30V y un caudal de 4 litros por minuto.

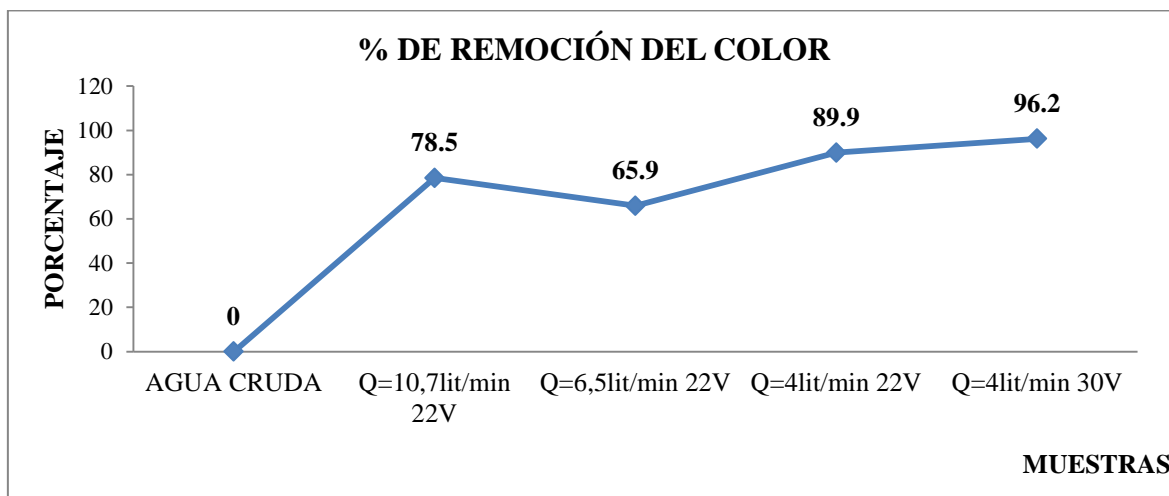


Figura 13. Remoción del color en %

Figura14. Resultados obtenidos en cada sub-celda caudal 4lit/min, $V_e = 30v$

La Figura 14 ilustra, la variación de la coloración del agua en cada una de las sub celdas.

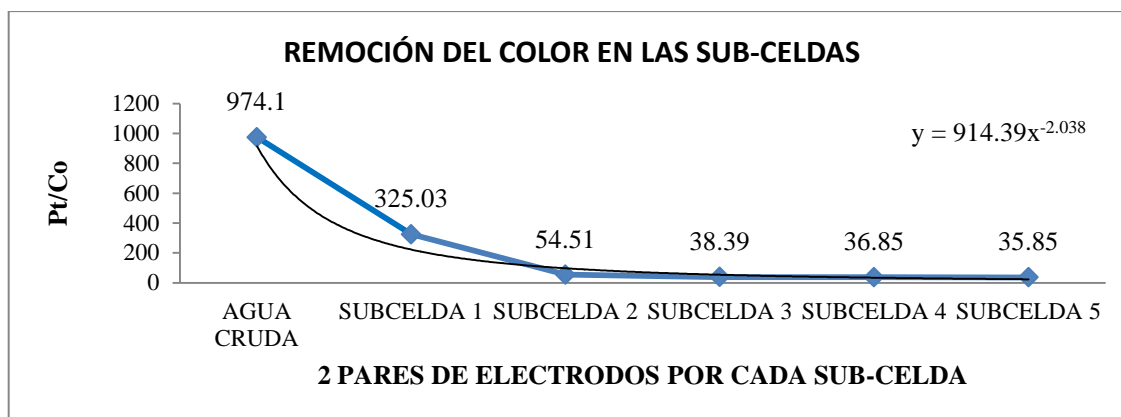


Figura. 15. Eliminación en cada sub-celda

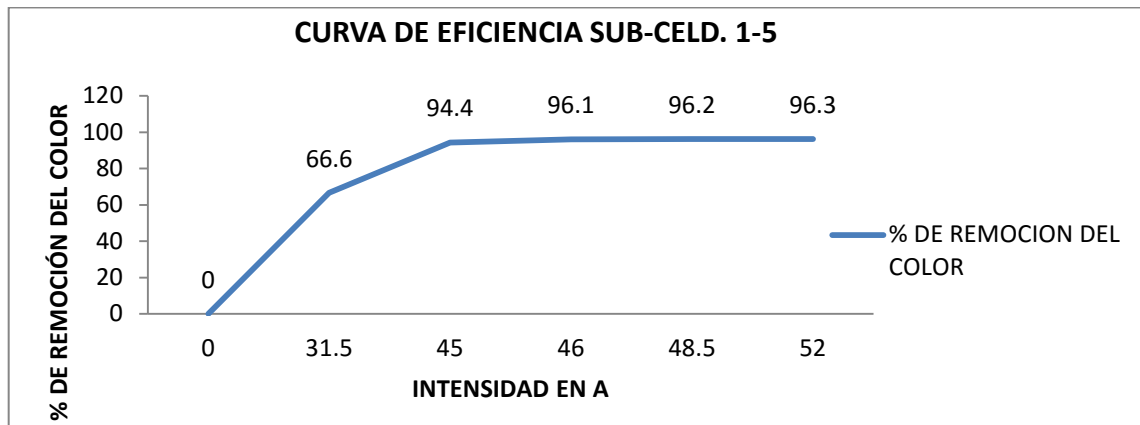


Figura. 16. Curva de eficiencia del sistema

En la ilustración 16 se observa que a partir de la tercera celda el % de remoción del contaminante es mínimo o sea en la tercera subcelda ya se tiene un valor del 96%. El tiempo de ataque electroquímico se reduce al 60%, esto quiere decir que el tiempo de electrocuagulación requerido puede disminuirse a 6 minutos.

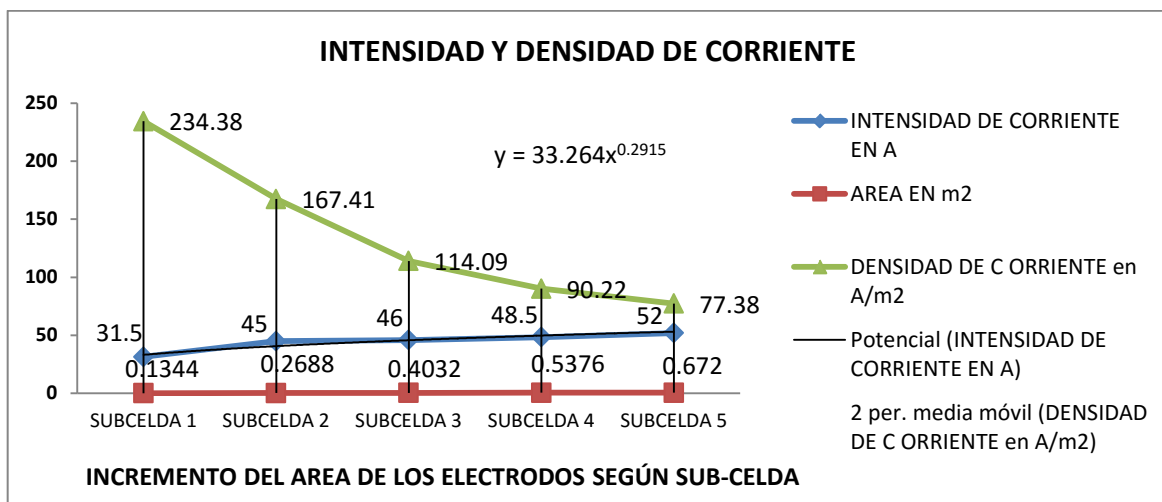


Figura. 17. Intensidad y densidad de corriente

La Figura 17 muestra el comportamiento de la corriente evidenciándose que al incrementar el número de electrodos dad de corriente requerida, por lo tanto al incrementar el área de los electrodos, aumenta la intensidad de corriente. Mientras que la densidad de corriente baja (Guamán, 2014). Por tanto de puede decir que la intensidad de corriente es función potencial del área, siendo la ecuación la siguiente

CONSUMO DE LOS ELECTRODOS EN GRAMOS

Tabla 2. Consumo de electrodos

<i>ELECTRODO</i>	<i>val.</i>	<i>F en $\frac{Coul}{mol}$</i>	<i>t en segundos en un mes</i>	<i>m = $\frac{D_L \cdot t \cdot m_o}{val \cdot F}$ (gr)</i>
ALUMINIO	3	96500	2246400	162,01
HIERRO	3	96500	2246400	335,3

Donde val. Es la valencia del material

F es el faradio

.t es el tiempo en segundos

.m es la cantidad de electrodo consumido en gramos

Duración de los electrodos

Tabla 3. Duración de los electrodos

<i>ELECTRODOS</i>	<i>$\rho \frac{gr}{cm^3}$</i>	<i>Vol. en cm^3</i>	<i>m_{TE}</i>	<i>Dudracion en meses</i>
ALUMINIO	2,7	537,6	1451,52	8,96
HIERRO	7,86	403,2	3169,152	9,45

Donde:

ρ es la densidad en gramos por centímetro cuadrado

Vol. Es el volumen de los electrodos

.m_{TE} es la masa de todos los electrodos

6 CONCLUSIONES

- Se verificó que el principio de electrocoagulación es efectivo para la remoción del color y una amplia gama de contaminantes, por lo tanto puede aplicarse como sistema de tratamiento secundario con fines de rehuso del agua.
- El tiempo de retención del agua residual en el electrocuagulador oscila entre 6 a 10 minutos.
- La electrocoagulación no requiere de la utilización de elevadas cantidades de sustancias químicas para la coagulación y floculación puesto que el proceso se cumple por efecto del paso de la corriente eléctrica.
- El sistema es muy efectivo para remover el color del agua residual textil, alcanzándose un 96%.
- Se requieren espacios reducidos para la instalación de la planta de tratamiento.
- Es muy importante observar el área de los electrodos y la distancia entre ellos ya que tiene relación directa con el consumo de corriente eléctrica.
- La velocidad del fluido es un parámetro determinante en el proceso de electrocoagulación
- La conductividad del agua influye significativamente en el comportamiento eléctrico.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Arango A. y Giraldo L. (2007). «Diseño de una celda de electrocoagulación para tratamiento de aguas residuales de la industria láctea,» Revista Universidad EAFIT, vol. 43, no 147.
- Bermúdez A. (2007). «Estudio de la factibilidad de un sistema de electrocoagulación para tratamiento de aguas procedentes de lavanderías industriales con fines de rehuso,» Universidad Pontificia de Colombia, Medellín.
- Guamán Mendoza R. (2014). «Gestión ambiental en la Empresa Lavandería y Tintorería de Jeans Mundo Color y su incidencia en el recurso Agua,» Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Ecuador. Tesis de maestría.
- INEC (2012), «INFO ECONOMÍA,» 06 Octubre 2012. [En línea]. <http://www.inec.gob.ec/inec/revistas/info6.pdf>
- Lehman Pablo H (2011). «Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento de aguas mediante electrocoagulación» Universidad de Madrid. Tesis doctoral.
- López O. R. (2011), «Determinación de medidas de producción más limpia para la optimización del uso de energía térmica y consumo de agua en la industria de lavado de Jeans Chelos Pelileo Provincia de Tungurahua. Ambato 2012.,» Universidad Tecnica de Ambato, Ambato.
- Molina A. (2011). «Estudio Para la remoción de colorantes de las aguas residuales de la industria textil a través de procesos electroquímicos,» Univesidad Politécnica Salesiana., Cuenca.
- Pinzón E.(2010). «Propuesta técnica a escala piloto para la remoción de color de origen textil, por medio de electrocoagulación para favorecer el proceso de potabilización de agua, en una planta de tratamiento de aguas.» Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Sánchez A. C, (2010). «Diseño Construcción y análisis de los parámetros de operación de un sistema de electrocoagulación,» Quito-Ecuador: Politécnica Nacional.
- Vicunha Textil (2010), Revista Científica. "Diagnostico de las lavanderías textiles en Pelileo". Quito - Ecuador.