



Descripción del comportamiento de un prototipo para tratamiento electroquímico de aguas residuales industriales.

Description of behavior of a prototype for the electrochemical treatment of industrial waste waters

Autores:

Diana Cristancho

inge.dianacristancho@gmail.com

Nelly Bibiana Morales P.

nelly.morales@unimilitar.edu.co

Jenny Z. Garavito N.

jenny.garavito@unimilitar.edu.co

Alvaro Chávez P.

alvaro.chavez@unimilitar.edu.co

Fecha de presentación: Marzo de 2010

Fecha de aceptación: Abril de 2010

RESUMEN

En el presente documento se realizó una descripción del proceso de electrocoagulación aplicado en aguas residuales industriales, específicamente las generadas en el sector de la galvanotecnia. Se diseñó un sistema prototipo alimentado con una muestra de aguas residuales galvánicas y de curtiembres de una empresa de la región. Evaluando la eficiencia en la reducción de metales pesados como Zinc (Zn), Níquel (Ni), Cromo (Cr) (total y hexavalente) y plomo. En el sistema se utilizaron como ánodo y cátodo placas de hierro y cobre, respectivamente, soportadas por varillas de cobre para inducir la conducción de la electricidad y separadas entre sí por una estructura en madera (material no conductor). La reacción se llevó a cabo en un recipiente dieléctrico en acrílico. El diseño se basó en un circuito resistivo de corriente directa (dc), donde la carga está representada por el afluente, obteniendo resultados que indican la eficiencia, en la reducción de metales pesados del 73%. De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que el sistema estudiado puede ser útil en los procesos de producción más limpia para las industrias del sector.

Palabras Clave: Electrocoagulación, Aguas Residuales Industriales Galvánicas, Curtiembres, Contaminación Ambiental, Metales Pesados, Producción Limpia.



ABSTRACT

It is described in this study the behavior of a prototype of electrocoagulation as an option for industrial wastewater treatment, evaluating the efficiency of reduction of heavy metals such as zinc, nickel, chromium (total and hexavalent) and lead. The prototype is powered by waste water from galvanic and tannery industries of the city of Bogotá. The prototype was used as anode and cathode plates of iron and copper respectively, supported by copper rods to drive electricity and separated by a wooden structure (non-conductive material). The reaction is carried out in a dielectric in acrylic. The system design is based on a circuit resistive direct current (dc), where the load is represented by the effluent, resulting that the efficiency of reduction of heavy metals was 73%. According to these results, the conclusion is that the system studied can be useful in the production of clean industries.

Key Words: *Electrocoagulation, industrial wastewater, tannery, environmental pollution, heavy metals cleaner production.*

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas de contaminación que existe en la actualidad a nivel mundial es la generación de aguas residuales industriales; lo cual exige la aplicación de tratamientos que implican el requerimiento de una costosa infraestructura para poder satisfacer las necesidades de minimización de la contaminación (ACERCAR, 2003)

Desde hace algunos años, en países como la ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, Estados Unidos, Canadá, Alemania, Brasil y México, se está investigando y aplicando un sistema no convencional para remover los contaminantes de las aguas residuales

industriales y domésticas al cual se le ha llamado Tratamiento Electrolítico de Efluentes, también denominado Tratamiento Electroquímico de Efluentes (MARTÍNEZ, 1990). El tratamiento consiste en hacer pasar una corriente directa a través de dos electrodos que pueden ser de aluminio, cobre, hierro, titanio, grafito, entre otros, sumergidos en el efluente a tratar (RAMALHO, 1991).

La electrocoagulación es una tecnología limpia emergente que se conoce desde principios del siglo XX y ha sido aplicada en el tratamiento de diversas aguas residuales. Pese a ello, ésta no se ha desarrollado ampliamente y aún falta por investigar sobre sus procesos y mecanismos (RAJESHWAR, 1997). Éste juega un papel importante en la



efectividad de remoción de contaminantes, en especial el de metales pesados. Algunos aspectos de diseño a tener en cuenta están relacionados con la celda, los electrodos, los materiales de éste y la geometría. Donde la disposición de los electrodos es fundamental para que la aplicación tenga resultados óptimos (COLÍN, 1991).

El objetivo del presente trabajo fue presentar la electrocoagulación, como el desarrollo de una tecnología limpia que se está empleando para el tratamiento de las aguas residuales, donde su mayor producción de contaminantes son metales pesados, que pueden generar de las industrias galvánicas y de curtiembres.

1. Marco referencial: problemática ambiental

1.1. Generación de Residuos en los Procesos de Galvanoplastia

Los procesos de galvanotecnia generan aguas residuales, cuyo tratamiento, es estudiado ampliamente, existiendo diversas metodologías tales como biotecnológicas, las de adsorción, las de intercambio iónico y otras; no obstante algunos métodos como la bioadsorción no puede ser aplicada para soluciones que contienen altos contenidos metálicos en solución, además de presentar problemáticas para la separación de las fases acuosa y sólida (PURAKIN Y PAKNIKAR, 1999).

Las características tóxicas se deben a las concentraciones normalmente elevadas, según la normatividad, en cianuros y metales pesados; además, la elevada acidez o alcalinidad confieren al desecho un fuerte poder corrosivo. El riesgo de contaminación depende de las sustancias químicas presentes, de su concentración y volumen, de las posibilidades de contacto humano y de su comportamiento en el medio ambiente después de su disposición (SUN KOU, 2000). En general, esta agua se puede encontrar numerosa, de naturaleza, concentración y tamaño diferente (CANEPA et al., 1984; SUN KOU, 2004).

Las materias primas utilizadas por el sector condicionan las características de las corrientes residuales generadas a consecuencia de la actividad industrial. La renovación frecuente de los baños de recubrimiento (que se deben de gestionar como residuos industriales líquidos) y el hecho que las etapas de lavado y enjuagado entre estos baños han comportado, históricamente, un alto consumo de agua y por tanto una alta generación de vertimientos, son algunos de los rasgos característicos desde el punto de vista de impacto ambiental del sector (FLICK, 1991).

En los procesos, la actividad de tratamiento de superficies produce fundamentalmente efluentes líquidos de dos tipos; por un lado aparecen cargas contaminantes altas, en volúmenes relativamente pequeños, de los efluentes



generados en los baños de proceso y por otro, efluentes con cargas diluidas en grandes volúmenes de agua, de los efluentes procedentes de los enjuagues o lavados (APHA, 1995).

La generación de desechos sólidos o semisólidos es el siguiente problema en importancia después de los vertidos líquidos (CHAVEZ, 2007). Los principales resultantes de la actividad son: soluciones viciadas, lodos con contenido en metales pesados procedentes del tratamiento de las aguas residuales, metales base, desechos de reactivos empleados en las distintas operaciones, aceites y grasas procedentes de la separación de aceites de los baños de desengrase, filtros y cartuchos impregnados por electrolito y envases y embalajes usados (WITTCOTT, 1997).

Es importante resaltar que algunos de los problemas que se pueden generar, según la WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1994) son:

- a) Consumo de oxígeno en las corrientes de agua, DQO, afectando la vida acuática (DAMA 2005, 2003).
- b) Contenido de sustancias tóxicas (cromo, níquel, cianuros, entre otros).
- c) Altos contenidos de sólidos en suspensión
- d) Sólidos disueltos.
- e) Grasas y aceites.
- f) Valores extremos de pH

Este gran volumen de agua residual posee cantidad apreciable de materias

tóxicas como los cianuros, el cromo, níquel, arsénico, entre otros. Toda el agua que interviene en el proceso, salvo la empleada como vapor se vierte al alcantarillado (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, 1990).

La industria de recubrimiento consume gran cantidad de agua en sus procesos, dándose principalmente en: preparación de baños, torres de enfriamiento, caldera, lavados, retrolavados, etc. (CERVERÓ, 2004).

En general, los tipos de vertimiento que se pueden dar en una instalación son:

- a) Vertidos discontinuos diluidos: Estos vertidos son los procedentes de sumergir las piezas en cubas de agua estancada con el fin de diluir al máximo la película de baño que las piezas llevan adherida en todo momento. El agua contenida en algunas de estas cubas se renueva periódicamente (HIBBITT, 2002).
- b) Vertidos discontinuos concentrados: Son, en su mayor parte, los procedentes de los baños de desengrases, neutralizados y pasivados agotados. En el caso de éstos, ocurre fundamentalmente por acumulación de aceites libres y emulsionados. En el caso de los baños ácidos de pasivado y neutralizado ocurre por acumulación de metal disuelto, así como de sus sales. Éstos una vez agotados, son renovados con una periodicidad que oscila entre una semana y tres meses, en función del tipo (CORBETT, 2002).



c) Vertidos continuos: Son los que se generan en el proceso, ya que utiliza una entrada constante de agua limpia a los enjuagues corrientes durante la jornada de trabajo, para evitar contaminar el baño siguiente con los productos químicos del anterior. Siendo la mayor fuente de consumo de agua en una empresa de recubrimiento metálico (FEPAM, 2002).

1.2. Tratamiento de las Aguas Residuales Mediante "Electrocoagulación"

El fundamento teórico de la electrocoagulación, consiste en que la precipitación se lleva a cabo al mismo tiempo que la desestabilización; en cambio, la coagulación química consiste en la formación de lodos debido a la unión formando masas de tamaño considerable, para luego separarlas del agua mediante la adición de más químicos como el Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), Cloruro Férrico ($FeCl_3$), entre otros (WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 1994). Las masas se forman por el contacto, éste se logra principalmente por el movimiento del líquido, debido a fenómenos eléctricos, como la presencia de iones de carga opuesta a la acción de Hidrógenos y otros (TEIXEIRA, 1993).

Es importante mencionar que el agua sometida a una electrólisis, se ve favorecida por la presencia de sales en disolución, que posibilitan la conducción de electricidad y que están presentes en todas las aguas residuales e industriales. (DE LIMA, 2007).

2. Metodología experimental

Teniendo en cuenta que este artículo describe los resultados de un proceso de investigación aplicada, la metodología fue diseñada para identificar, a través de la práctica, datos con un grado de objetividad, analizando el todo como un sistema de fenómenos no complejos.

Así, la recolección, interpretación y análisis de datos surgidos de la experimentación, posterior a una revisión bibliográfica general, dio el inicio a la instalación del sistema de tratamiento (prototipo).

Con lo anterior, se hace evidente que el presente estudio se enmarca dentro de un proceso experimental cuantitativo.

2.1. Diseño del prototipo

El tratamiento electroquímico se llevó a cabo empleando un prototipo en acrílico, con una capacidad de 5 L. El modelo empleó una celda electroquímica con un ánodo y dos cátodos dispuestos en forma vertical y conectados a una fuente de energía externa (MARAÑÓN, 2000). Donde el material anódico se corroe eléctricamente debido a la oxidación, mientras que el cátodo permanece pasivo.

En ensayos previos presentados en la literatura, se determinó que el diseño formado por un par de electrodos, no es el más adecuado a la hora del proceso; ya que para obtener una rata adecuada de disolución del metal se requiere de

electrodos de gran área superficial; es por esta razón que se utilizaron celdas con electrodos en paralelo, según lo sugerido (PETTERSON, 1985).

El sistema para la electrocoagulación requirió de una fuente de corriente directa, un regulador de voltaje y de un

2.2. Caracterización de las muestras.

Para la valoración del sistema se utilizó agua residual de una industria galvánica y otra de curtiembres. El tipo de muestras que se tomaron fueron puntuales (APHA, 1995). De acuerdo con esta información se determinaron los parámetros de

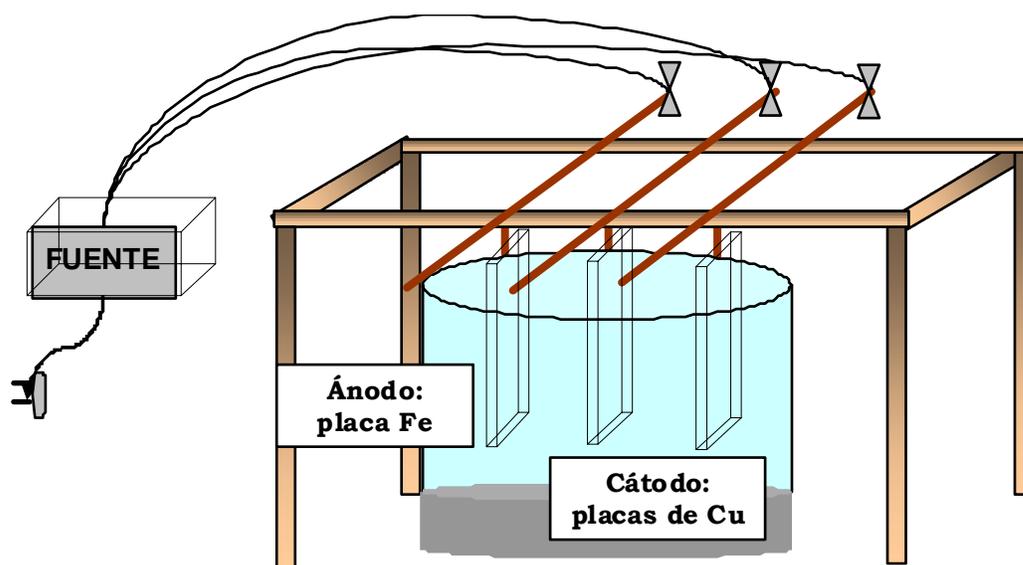


Figura 1. Prototipo Desarrollado de Celda de Electrocoagulación.

amperímetro para leer los valores de corriente (MOLLAH, 2001).

En la Figura 1 se muestra el sistema para electrocoagulación con electrodos en paralelo.

diseño, recomendados por TCHOBANOUGLOUS (1998) y OROZCO (1985).



3. Resultados

En la Tabla 1 se muestra la eficiencia de remoción de los parámetros evaluados: Cromo total (Cr y Cr+6), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn); con las respectivas concentraciones de afluente y efluente.

metales pesados en el sistema de electrocoagulación, observando que en todos los parámetros se presentó disminución de la carga contaminante. En la Figura 3, se observa la eficiencia del sistema, evidenciando como punto más alto 74% con el parámetro de Cr+3;

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA GALVÁNICA			
PARÁMETRO	AFLUENTE (mg / L)	EFLUENTE (mg / L)	EFICIENCIA (%)
Cr	0,85	0,30	65
Cr ⁺⁶	0,61	0,16	74
Ni	0,07	0,05	29
Pb	0,02	0,01	50
Zn	2,40	0,78	68

Tabla 1. Caracterización del Agua Residual, resultados.

La eficiencia de remoción obtenida fue del orden:

- Cr 74%;
- Cr+6 65%;
- Ni 29%;
- Pb: 50%;
- Zn 68%.

existente en mayor número en aguas residuales de curtiembres.

El punto de eficiencia más bajo se encontró en el Ni con un 29% predominante en aguas residuales galvánicas tal como se encontró en valores de referencia bibliográfica presentados por CHEN (2004).

4. Análisis de resultados

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de remoción de los

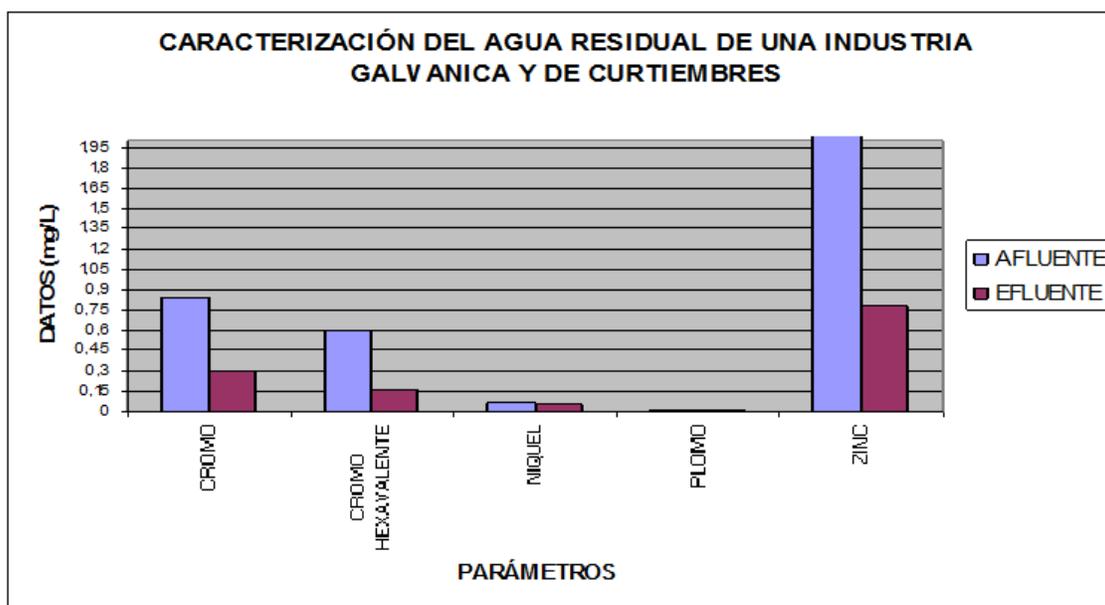


Figura 2. Datos caracterización del Agua Residual.

De los valores obtenidos se observa que el mejor comportamiento en eficiencia resulta con las aguas provenientes de curtiembres, con los parámetros del cromo como se observa en la Figura 3.

Este comportamiento se debe a que este tiene mayor afinidad con el Fe y Cu, en el proceso de electrocoagulación a diferencia de los otros parámetros estudiados (KENNETH, 1967).

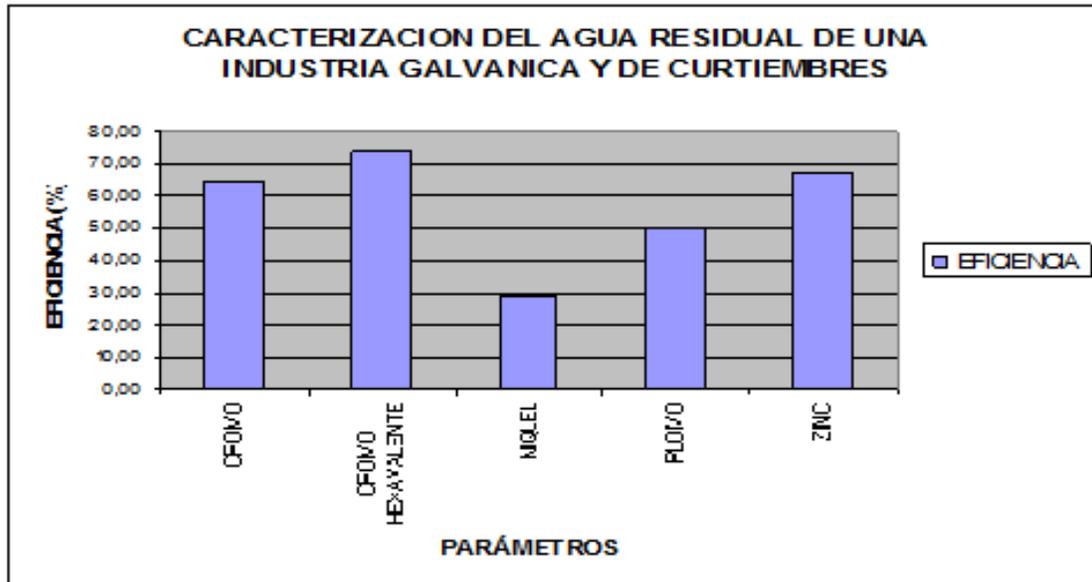


Figura 3. Eficiencia de Remoción en el Sistema.

CONCLUSIONES

Se obtuvo una eficiencia de 74% en el parámetro de Cr+6 evaluado dentro del sistema electroquímico, lo que deduce afinidad electrónica dentro del proceso.

La electrocoagulación es en la actualidad una tecnología emergente que se presenta como alternativa para el tratamiento de aguas residuales, ofreciendo un potencial en la remoción de diversos contaminantes contenidos en las de industrias galvánicas. Aunque ésta técnica es conocida hace ya algunas décadas, es aún tema de investigación y experimentación Y ha comenzado a recobrar el interés en la aplicación,

facilidad de manejo y operación, versatilidad y adaptabilidad a diferentes procesos y a sus ventajas ambientales y económicas.

Es así como el diseño de reactores para la electrocoagulación, la selección de los materiales de los electrodos y las condiciones de operación son aspectos que se deben perfeccionar mediante la investigación, para optimizar los procesos y hacerlos económicamente competitivos.

Sin duda alguna la necesidad de proveer agua para la inmensa demanda mundial y la crisis por el recurso hídrico, constituyen un desafío que requiere atención urgente.



La electrocoagulación, como tecnología tiene un valor como parte de la solución global a este problema. El enfoque que se presenta de ésta es positivo y pretende sentar un precedente, ahondando en los aspectos que la hacen pertinente y observada como uno de los modelos, con un alcance de aplicación y un significativo impacto en la población mundial.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Acercar Industria. (2003). Planes De Acción Para Mejoramiento Ambiental Galvanotécnica. 2003.
- Agency For Toxic Substances And Disease Register. (2003). División De Toxicología Del Níquel. ATSDR. 2003
- American Water Works Association. (1990). Water Quality And Treatment. Cuarta Edición, Ed. Mcgraw-Hill: USA. Pp. 709-745, 1113-1150.
- APHA, AWWA, WPCF (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. USA. (Métodos Normalizados para el Análisis del Agua y Aguas Residuales. 19a. Edición. E.U.A).
- Canepa, L.; Pérez, J. Y Richter, C. (1984). Evaluación De Plantas De Tratamiento De Aguas. Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria Y Ciencias Del Ambiente. Manual Dtiapa N° C-5, Tomo I, Lima -Perú.
- Cerveró, M. (2001). Residuos con materiales procedentes de procesos galvánicos, Parte I: Procesos galvánicos. Femeval. Econoticias Vol.N.º8. España.
- Corbett, C. J.; Pan, J. N. (2002). Evaluating environmental performance using statistical process control techniques. European Journal of Operational Research, Vol. 139. Pp. 68-83.
- Chávez, Á. (2007). Uso de lodo de estação de tratamento de água e agregado reciclado miúdo na fabricação de elementos de alvenaria. Tese de doutorado, UNICAMP, SP.
- Chen, G. (2004). Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment. In: Separation and Purification Technology. Vol. 38.(1). Pp 11-41.
- Colín, C. A. (1991). Lodos residuales. Ingeniería Ambiental. N°12. SMISAAC. Pp. 35-43.
- DAMA (2001). Ministerio De Medio Ambiente, Guía para la elaboración de un programa de minimización de residuos en las MIPYMES. Talleres Grafikar, Bogotá. Pp.9-29.
- DAMA (2005). Planes de Acción para mejoramiento ambiental, Manual para empresarios de la PYME "Galvanotécnica" -ACERCAR.



- De Lima, G., Guesser, W.L.; Masiero, I. (2007). Influência do bismuto, níquel, estanho e alumínio na espessura da camada dos revestimentos galvanizados. Vol.12 (4). Matéria (Rio de Janeiro, Brasil).
- Kenneth, A.(1967). Manual de ingeniería de los recubrimientos electrolíticos. Compañía Editorial Continental, S.A. 1542 p.
- Mollah, M. Yousuf A. (2001). Electrocoagulation (EC)--Science and applications. In: Journal of Hazardous Materials. Vol. 84 (1) Pp. 29-41.
- Martínez, D.S.A. (1990). Tratamiento Electrolítico de Efluentes. Revista del Inst. Mex. del Petrol. Vol. XXII (2) Pp.101-105.
- Marañón, E. (2000). Capítulo VII Tratamientos fisico-químicos de residuos industriales. Residuos Industriales. Oviedo, Gijón, España Editora Universidad. Pp 145-180.
- Orozco J. (1985). La densidad de carga del electrólito como parámetro de control del proceso de electrocoagulación. En. Revista Ainsa. Vol.5 (2) Pp.3-30.
- Petterson, J. W. (1985). Industrial Wastewater Treatment Technology. Butterworth Publishers, Stoneham, Ma Second edition. Pp 273-302.
- Rajashwar, K. and Ibañez, J. Environmental electrochemistry: (1997). Fundamentals and Applications in pollution abatement. San Diego, California: Academic Press limited. P. 776
- Ramalho, R.S. (1991) Tratamiento de aguas residuales. Trad. Jiménez Beltrán Domingo et. al. Reverté S.A, Barcelona. P. 705
- Tchpbanougous, G., y Theisen, H. (1994). Gestión integral de residuos sólidos. Editorial Mc Graw Hill. P.1200.
- UNE 77-056-83 Métodos de análisis de agua en vertidos industriales. Determinación de metales.



PERFIL DEL AUTOR

NELLY BIBIANA MORALES P. Licenciada en química de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Joven Investigadora del grupo Colombia Visión Hídrica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada. Correo electrónico: nelly.morales@unimilitar.edu.co, Bogotá-Colombia.

JENNY Z. GARAVITO N. Licenciada en química de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, asistente de investigación del grupo Tecnologías Ambientales y Química Teórica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada. Correo electrónico: jenny.garavito@unimilitar.edu.co, Bogotá-Colombia.

ÁLVARO CHÁVEZ P. Ingeniero Industrial de la Universidad del valle; Magister y Doctor y ex-profesor de la Universidad Estatal de Campinas, San Pablo, Brasil, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Saneamiento y Ambiente. Desarrolló investigaciones en procesos ambientales de agua potable, residuos líquidos y sólidos. Sus materias de pre-grado fueron: Calidad Sanitaria del Agua; Distribución de Aguas Potables; Electivas para Pequeñas Comunidades; Electivas para Procesos Industriales, Electivas de Tratamientos Sólidos y líquidos; y Remediaciones Ambientales. Actualmente se desempeña como docente del programa de Ingeniería Civil y coordinador de la Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales de la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG), Líder del grupo de investigación Tecnologías Ambientales y Química Teórica de la Facultad de Ingeniería UMNG y docente investigador del grupo Ingenio y Tecnóloga, de la misma facultad. Correo electrónico: alvaro.chavez@unimilitar.edu.co, Bogotá-Colombia.

Este documento es resultado del proyecto ING 298: "Diseño de un prototipo para la recuperación de aguas residuales generadas en los procesos de recubrimientos galvánicos". Financiado por la Universidad Militar Nueva Granada. Este documento hace parte de los productos de la línea de Investigación: Tratamiento de Residuos Sólidos, Líquidos y Gaseosos.