The background of the cover is a deep blue color. It features a complex pattern of overlapping hexagons and gears. The hexagons are outlined in a lighter blue, and some contain smaller gears or circuit-like patterns. The overall effect is a sense of interconnectedness and technology.

Entre  
CIENCIA  
e  
INGENIERIA  
4

Amanda Fernandes Pereira da Silva  
(Organizadora)

Atena  
Editora  
Ano 2022



Entre

# CIENCIA e INGENIERIA

4

**Amanda Fernandes Pereira da Silva**  
(Organizadora)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadora:** Amanda Fernandes Pereira da Silva

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

E61 Entre ciencia e ingenieria 4 / Organizador Amanda Fernandes Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-258-0586-3  
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.863221910>

1. Ciencia. 2. Ingenieria. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizador). II. Título.

CDD 501

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A coleção “Entre Ciencia e Ingenieria 4” é uma obra que compreende os processos sob os quais se desenvolve, aplica e divulga a ciência, tecnologia e a inovação. Seu objetivo consiste em difundir trabalhos científicos que abrange diversos campos da Ciência e Engenharia que compõem os capítulos.

O volume abordará de forma categorizada e clara pesquisas e publicações com o objetivo central de analisar processos que possam ser utilizáveis em projetos e/ou trabalhos futuros. Além disso, apresenta uma análise ao desenvolvimento de temáticas que envolvem a saúde pública e coletiva, área das engenharias e ciência.

Desta forma, esse material se torna bem interessante por constituir temas, conhecimentos acadêmicos desenvolvidos e discutidos por diversas instituições de ensino e pesquisa do país e fora do país. Por isso, para necessária compreensão comum e explicitar trabalhos de forma altamente eficaz, a Atena Editora é capaz de oferecer e difundir a transferência de conhecimento com os mais debates centrados da liderança da ciência e engenharia com esta mais nova coleção.

Amanda Fernandes Pereira da Silva




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

ACTIVIDAD ANTI-CHIKUNGUNYA DE LOS ACEITES ESENCIALES DE PLANTAS PERTENECIENTES A LAS FAMILIAS VERBENACEAE, PIPERACEAE, POACEAE, LAMIACEAE, LAURACEAE Y MYRTACEAE: ESTUDIOS DE DOCKING MOLECULAR

Liliana Amparo Betancur-Galvis

Orlando José Jiménez Jarava

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219101>

### **CAPÍTULO 2..... 24**

CATALYTIC PYROLYSIS OF WASTE EXPANDED POLYSTYRENE TO OBTAIN STYRENE

Gerardo Pérez-Bravo


José Luis Contreras Larios

Jorge Francisco Rodríguez

Beatriz Zeifert

Tamara Vázquez Rodríguez

Jesús Eduardo Estrada Pérez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219102>

### **CAPÍTULO 3..... 37**

EL GÉNERO Y SU IMPACTO EN EL NIVEL DE BURNOUT DE LOS DIRECTIVOS DE MIPYMES DE ALIMENTOS Y BEBIDAS EN EL ESTADO DE SONORA

Jesús Martín Cadena Badilla

Arturo Vega-Robles

Agustín Mejías Acosta

Joaquín Vásquez Quiroga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219103>

### **CAPÍTULO 4..... 53**

ESTUDIO SOBRE LA APLICABILIDAD DE LOS RESIDUOS EN LA PRODUCCIÓN DE GEOPOLÍMEROS PARA USO EM HORMIGÓN


Laryssa Oliveira Bento

Thamila Barroso de Moura Alves

Amanda Fernandes Pereira da Silva

Crisnam Kariny da Silva Veloso

Alisson Rodrigues de Oliveira Dias

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219104>

### **CAPÍTULO 5..... 62**

ANÁLISIS MORFODINÁMICO DEL RÍO SINÚ ANTES Y DESPUES DE LA OPERACIÓN DE URRÁ I

Germán Vargas Cuervo


David Leonardo Valbuena Gaviria

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219105>

**CAPÍTULO 6..... 80**

**MEJORA DE PROCESO APLICANDO HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA**


Esteban Rubio Ochoa  
Laura Isela Padilla Iracheta  
Jaime Eduardo Trejo Aguirre  
Irving Torres Quezada  
Jesús Eduardo Ramírez Delgado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219106>

**CAPÍTULO 7..... 92**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRUCTURA MÓVIL ENFOCADA A UN ROBOT DE RESCATE**


Martha Isabel Aguilera Hernández  
Juan Antonio Algarín Pinto  
Daniel Medina Romero  
Manuel Ortiz Salazar  
José Luis Ortiz Simón  
Raúl Francisco Aguilera Hernández  
Gustavo Rojo Velázquez  
Daniel Olivares Caballero

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219107>

**CAPÍTULO 8..... 110**

**PROYECTO MERCURIO CERO. REMOCIÓN DE MERCURIO MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN, EN MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO ARZOBISPO CUENCA MEDIA**

Luis Eduardo Peña Prieto  
Adriana Alméciga Gómez  
Rafael Meza Benitez  
Xiomara Jiménez Muñoz  
Johanna Bonilla

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219108>

**CAPÍTULO 9..... 123**

**REDUCTION OF WORKPLACE ACCIDENT RATES USING MATHEMATICAL STATISTICAL MODELS**


Ramón A. Pons Murguía  
Eulalia M. Villa González Del Pino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219109>

**CAPÍTULO 10..... 130**

**SYSTEM MODELING RESEARCH PROJECT OF STUDENT'S GRADE POINT AVERAGE**

Juan Carlos González-Castolo  
Silvia Ramos-Cabral  
Sara Catalina Hernández-Gallardo  
Manuel Prieto-Méndez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.86322191010>

<b>SOBRE A ORGANIZADORA.....</b>	<b>145</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>146</b>

## PROYECTO MERCURIO CERO. REMOCIÓN DE MERCURIO MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN, EN MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO ARZOBISPO CUENCA MEDIA

*Data de aceite: 03/10/2022*

**Luis Eduardo Peña Prieto**

Universidad Distrital

**Adriana Alméciga Gómez**

Universidad ECCI, Semillero PRISMA,  
Dirección Ciencias Básicas, COLOMBIA

**Rafael Meza Benitez**

Universidad ECCI, Semillero PRISMA,  
Dirección Ciencias Básicas, COLOMBIA

**Xiomara Jiménez Muñoz**

Universidad ECCI, Semillero PRISMA,  
Dirección Ciencias Básicas, COLOMBIA

**Johanna Bonilla**

Universidad ECCI, Semillero PRISMA,  
Dirección Ciencias Básicas, COLOMBIA

**RESUMEN:** La creciente demanda mundial y nacional de agua, por un lado, y la indiscriminada contaminación del recurso hídrico, por el otro, generan la urgente necesidad de desarrollar e implementar innovadoras tecnologías, más eficaces, eficientes y económicas de tratamiento de aguas residuales. La electrocoagulación se destaca por su sencillez, economía y fácil aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales de diferente procedencia (industrial, doméstica), particularmente las contaminadas por mercurio. Además, genera pocos residuos secundarios, no implica compra y almacenamiento de reactivos químicos (coagulantes, floculantes, desinfectantes), ya que estos son generados *in*

*situ* en el proceso de purificación del agua por electrocoagulación. Es rentable económicamente y presenta altos porcentajes de remoción (cerca o incluso el 100%, como en el caso del mercurio en la presente investigación). En la presente investigación se tomó agua del río Arzobispo (Bogotá-Colombia), se determinó experimentalmente por absorción atómica el contenido de mercurio (0,002 ppm), que resultó ser superior al límite permitido por la normatividad tanto nacional como internacional (0,001 ppm). Seguidamente se le realizó un tratamiento depurador por electrocoagulación, que permitió eliminar totalmente el mercurio presente. Para ello se realizaron 15 sesiones de electrocoagulación de a 30 minutos cada una de ellas. Los resultados de presencia de mercurio, llevados a cabo por absorción atómica mostraron PRESENCIA NO DETECTABLE.

**PALABRAS CLAVE:** Electrocoagulación, Mercurio, Agua Residual, Coagulación, Floculación.

MERCURY ZERO PROJECT.  
MERCURY REMOVAL THROUGH  
ELECTROCOAGULATION, IN WATER  
SAMPLES FROM THE ARZOBISPO  
RIVER IN THE MIDDLE BASIN

**ABSTRACT:** The growing global and national demand for water, on the one hand, and the indiscriminate contamination of water resources, on the other, generate the urgent need to develop and implement innovative, more effective, efficient and economic technologies for wastewater treatment. Electrocoagulation stands out for its simplicity, economy and easy applicability in

the treatment of wastewater from different sources (industrial, domestic), particularly those contaminated by mercury. In addition, it generates few secondary residues, it does not imply purchase and storage of chemical reagents (coagulants, flocculants, disinfectants), since these are generated in situ in the process of water purification by electrocoagulation. It is economically profitable and has high removal rates (close or even 100%, as in the case of mercury in the present investigation). In the present investigation, water was taken from the Arzobispo River (Bogotá-Colombia), the mercury content (0.002 ppm) was determined experimentally by atomic absorption, which proved to be higher than the limit allowed by both national and international regulations (0.001 ppm). Subsequently, an electrocoagulation treatment was performed, which allowed the total mercury to be eliminated. For this, 15 electrocoagulation sessions of 30 minutes each were carried out. The results of the presence of mercury, carried out by atomic absorption showed NO DETECTABLE PRESENCE.

**KEYWORDS:** Electrocoagulation, Mercury, Residual water, Coagulation, Flocculation.

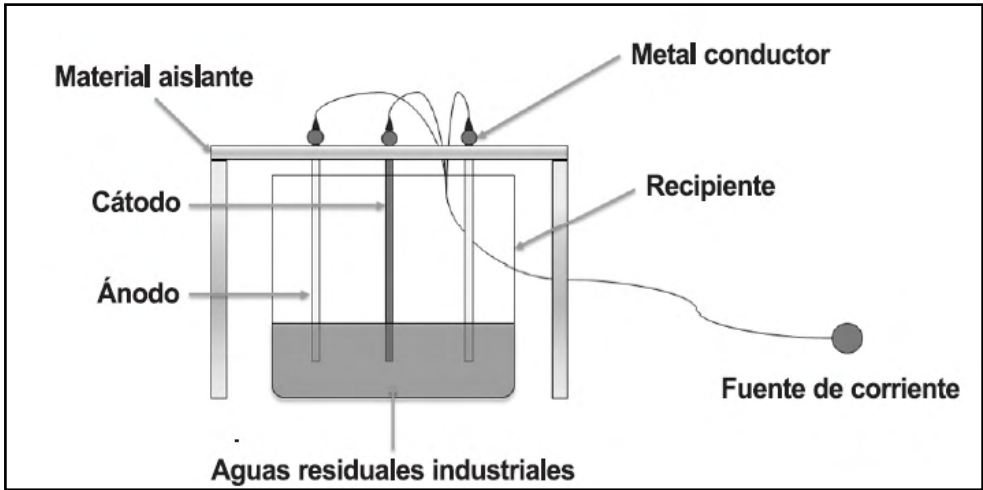
## OBJETIVO

Remoción de mercurio presente en aguas residuales vertidas al río Arzobispo (Bogotá-Colombia)

## INTRODUCCIÓN

### Electrocoagulación

- Técnica emergente de remediación de aguas residuales que surge a principios del siglo XX.
- Proceso en el agua residual de desestabilización de sustancias disueltas (sales inorgánicas, metales pesados tóxicos, otros), material sólido en suspensión (coloides) y líquido emulsionado (aceites, grasas) mediante la introducción de corriente eléctrica en el medio.
- La corriente eléctrica se introduce por medio de una celda electrolítica, los electrodos de la cual generan el agente coagulante (cationes de metal, comúnmente  $Al^{3+}$  en el ánodo) y burbujas de gas hidrógeno (en el cátodo) que permiten la electro-flotación y/o electro-sedimentación de los contaminantes ya coagulados.
- Celda electrolítica:

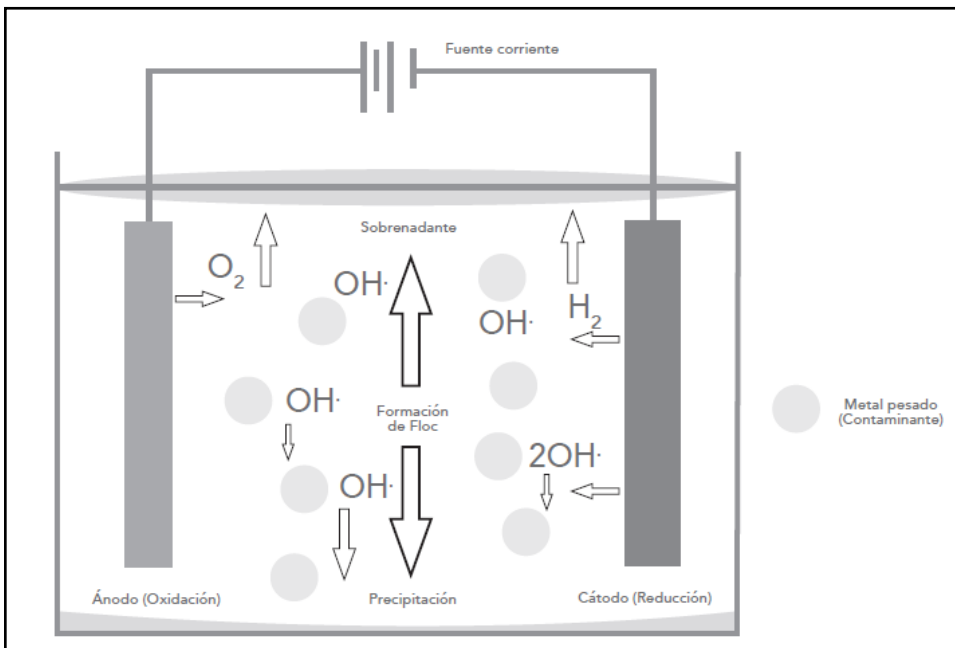


Sistema de electrocoagulación

Fuente: Nelly Bibiana Morales Posada (2010)

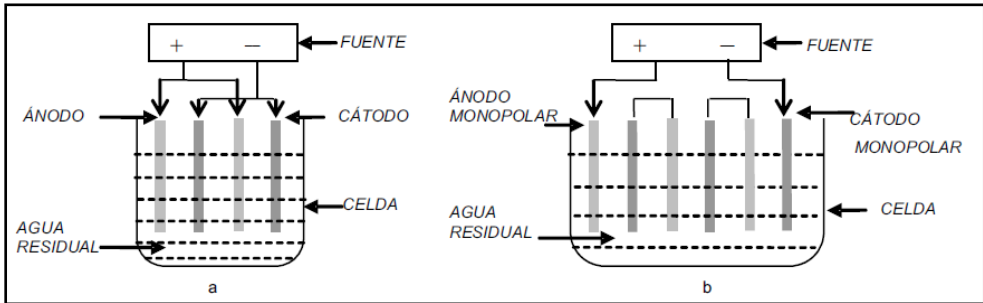
## Electrocoagulación

- En el ánodo ocurren todos los procesos de OXIDACIÓN y en el cátodo de REDUCCIÓN



Fuente: Gema Eunice Acosta Niño y otros (2010)

- El reactor puede trabajar en régimen continuo o Batch, en paralelo (a) o en serie (b):



Reactores para electrocoagulación tipo Bach. a) Conectados en paralelo; b) Conectados en serie

Fuente: Álvaro Arango Ruiz (2005)

<b>LEY 23 de 1973 – Expedida por: Congreso de Colombia</b>	
<b>Descripción:</b> Establece como deber de las personas, la protección de los recursos culturales y naturales del país, y de velar por la conservación de un ambiente sano.	<b>Aplicación:</b> Prevención y control de la contaminación mejoramiento y restauración (tratamiento) de recursos naturales.
<b>DECRETO LEY 2811 de 1974 – Expedida por: Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible</b>	
<b>Descripción:</b> Código nacional de los recursos naturales renovables y no renovables y de protección al medio ambiente. El ambiente es patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. Regula el manejo de los RNR, la defensa del ambiente y sus elementos.	<b>Aplicación:</b> Considera los factores que deterioran el medio ambiente, entre ellos alteraciones a los cuerpos de agua natural. Postulados relacionados directamente con el agua como dominio público. Adquisición de derecho al uso del agua.
<b>LEY 9 de 1979 – Expedida por: Congreso de la republica</b>	
<b>Descripción:</b> Por la cual se dictan medidas sanitarias	<b>Aplicación:</b> Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente. Clasificación del agua según su uso dentro de la cual se encuentra "industrial".

<b>LEY 99 de 1993 – Expedida por:</b> Congreso de Colombia	
<b>Descripción:</b> Crea el Ministerio del Medio Ambiente y Organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Reforma el sector Público encargado de la gestión ambiental. Organiza el sistema Nacional Ambiental y exige la Planificación de la gestión ambiental de proyectos.	<b>Aplicación:</b> Las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente, a fin de asegurar el desarrollo sostenible.

Alguna normatividad colombiana relacionada con el tratamiento y conservación del recurso hídrico

Fuente: Sonia Catalina Apréaz Aragón y Juan Sebastián García Garay (2015)

<b>RESOLUCION 1433 de 2004 – Expedida por:</b> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	
<b>Descripción:</b> Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV	<b>Aplicación:</b> Es el conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente para la corriente.
<b>RESOLUCIÓN 3957 de 2009 – Expedida por:</b> Secretario Distrital de Ambiente	
<b>Descripción:</b> Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital	<b>Aplicación:</b> Usos del agua y residuos líquidos. Se aplicará a los vertimientos de aguas residuales diferentes a las de origen doméstico dentro del perímetro urbano de Bogotá D.C. Determinación de los valores de referencia y las características que deben cumplir todos los vertimientos realizados a la red de alcantarillado.



<b>RESOLUCIÓN 631 de 2015 – Expedida por: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</b>	
<b>Descripción:</b> Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.	<b>Aplicación:</b> Límites máximos permisibles para vertimientos de tipo ARnD (Agua residual no doméstica), proveniente de Fabricación y manufactura de bienes (dentro de la cual se incluye la industria textil)

Alguna normatividad colombiana relacionada con el tratamiento y conservación del recurso hídrico

Fuente: Sonia Catalina Apráez Aragón y Juan Sebastián García Garay (2015)

## DISEÑO EXPERIMENTAL

1. Diseño y elaboración del reactor electroquímico (celda electrolítica)
2. Diseño y elaboración de los electrodos. Ánodo (Aluminio); cátodo (Hierro)
3. Montaje de la celda electrolítica
4. Toma de muestras de agua del río Arzobispo (10 litros por muestra)
5. Muestra de agua de trabajo en el reactor electroquímico (8 litros)
6. Análisis del agua residual inicial para determinar el contenido de mercurio (0,002 ppm)
7. Electrocoagulación y filtración
8. Análisis final de contenido de mercurio (Mercurio cero)

## CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA SOLUCIÓN ACUOSA

PROPIEDAD	VALOR INICIAL.
Temperatura	16
PH	5,9
Mercurio total.	0.002 ppm.

Variables de estudio

Independiente

Tiempo de electrocoagulación. 15 sesiones de 30 minutos cada una.

Dependiente

Cantidad de mercurio presente. 0,002 ppm.

## RESULTADOS

### Celda electroquímica



- Acrílico transparente de 3 mm de grosor.
- Electrodo intercalados, uno de aluminio seguido de uno de hierro.
- Área de cada electrodo:  $25\text{ cm} \times 25\text{ cm} = 625\text{ cm}^2$
- Separación de los electrodos: 1 cm
- Capacidad de la celda: 8 litros.
- Parámetros de corriente: 24 voltios, 20 amperios= 480 vatios hora.
- Tiempo de residencia: 15 sesiones de 30 minutos cada una

### Caracterización final de la muestra en estudio

Después de cada sesión de 30 minutos de electrocoagulación se procedió a dejar sedimentar la muestra durante 10 minutos y se realizó un filtrado artesanal mediante una pieza de tela fina. (Lino). Terminada la electrocoagulación última, la sesión número 15, se sometió la muestra a una filtración con bomba de vacío, utilizando el kitasato. El embudo de porcelana se utilizó colocándole doble papel filtro.

Finalmente, la muestra filtrada se analizó en un equipo de absorción atómica, marca MILESTONE, MODELO DMA-80, Serial 1050870. ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO, en los laboratorios COLCAN (Bogotá).

Los resultados demostraron la REMOCIÓN TOTAL, MERCURIO CERO, al obtener

del equipo de absorción atómica: NO DETECTABLE.

### Concentración final de mercurio después de la electrocoagulación

Tiempo de residencia	Parámetro
7.5 HORAS	-0- ppm (no detectable)

### Cálculos de consumo másico del electrodo de sacrificio (aluminio), electricidad y costos del proceso de electrocoagulación

- La masa del electrodo de aluminio disminuye durante el proceso de electrocoagulación.
- Según las leyes de Faraday:

$$w_{Al} = \frac{Eq-g(Al)}{96.500\text{Coulomb}} * I(A) * t(s) = \frac{\left(\frac{27}{3}\right)gAl}{96.500\text{Coulomb}} * 20A * 3600s = 6,715\text{ g Al/h}$$

1 Faraday=96.500 Coulomb

- Precio de aluminio: COP\$6000/Kg
- Precio de Al por desgaste por proceso de 7,5 horas de electrocoagulación de 8 litros de agua residual hasta Mercurio cero:

$$6000 \frac{\$}{Kg} * 0,006715 \frac{Kg}{h} * 7,5 h = COP\$302,18$$

- Precio Kwh promedio en Chapinero (Bogotá): COP\$500
- Consumo de energía eléctrica en el proceso de electrocoagulación hasta Mercurio cero:  $20A * 24V = 480$  vatios (w)
- Precio de consumo eléctrico por proceso de 7,5 horas de electrocoagulación de 8 litros de agua residual hasta Mercurio cero:

$$500 \frac{\$}{Kwh} * 0,480Kwh * 7,5 h = COP\$ 1800$$

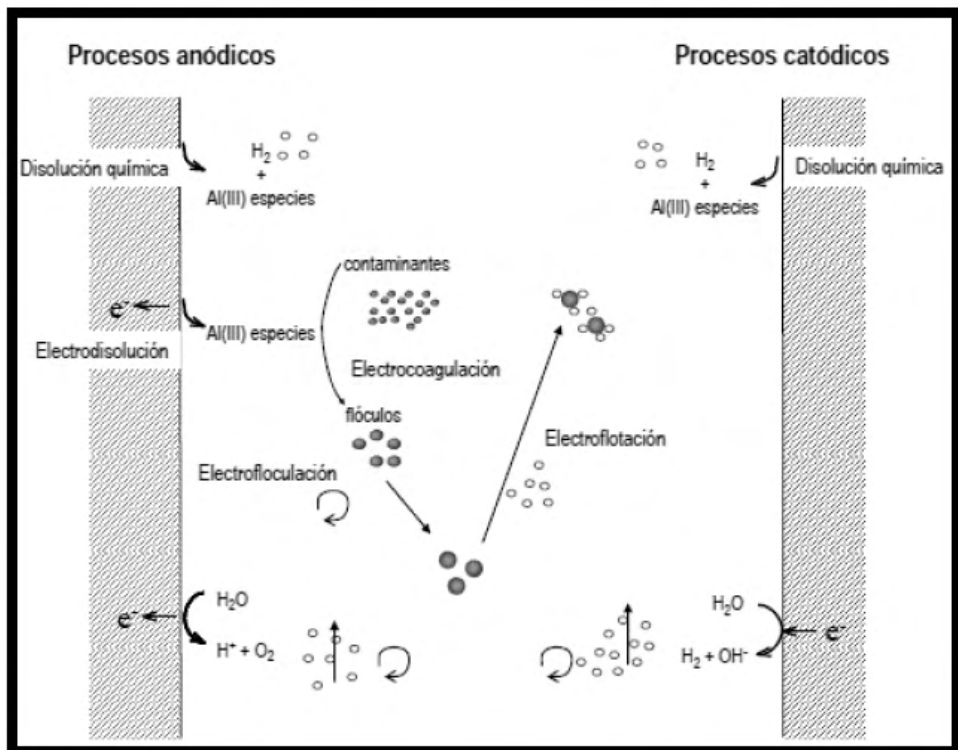
- Precio total de electrocoagulación de 8 litros de agua residual hasta Mercurio cero:  $COP\$302,18 + COP\$ 1.800 = COP\$ 2.102$

~ COP\$2000

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

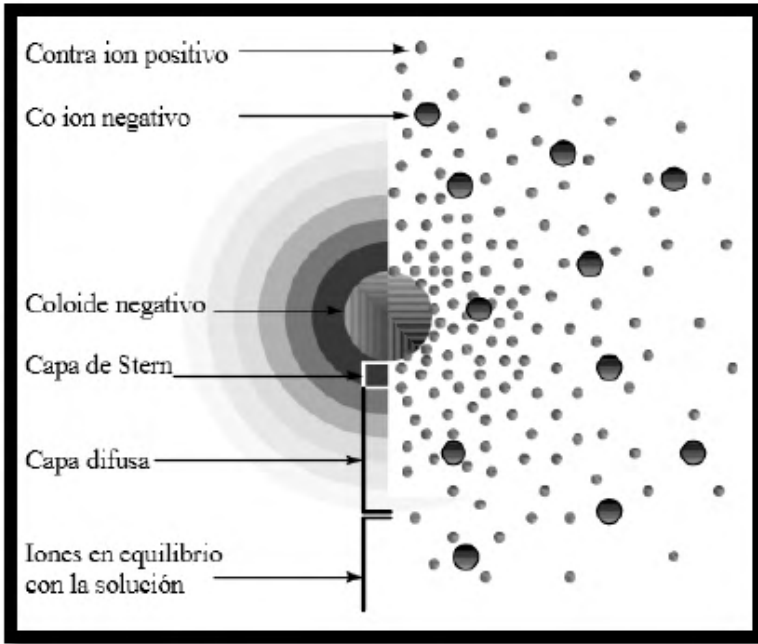
- La electrocoagulación demostró ser una técnica efectiva de tratamiento de aguas residuales que presentan mercurio.
- Procesos que ocurren en la electrocoagulación:

a) Oxidación anódica, reducción catódica, electrocoagulación, electroflotación, electrosedimentación



Fuente: (Ruíz, et al., 2007).

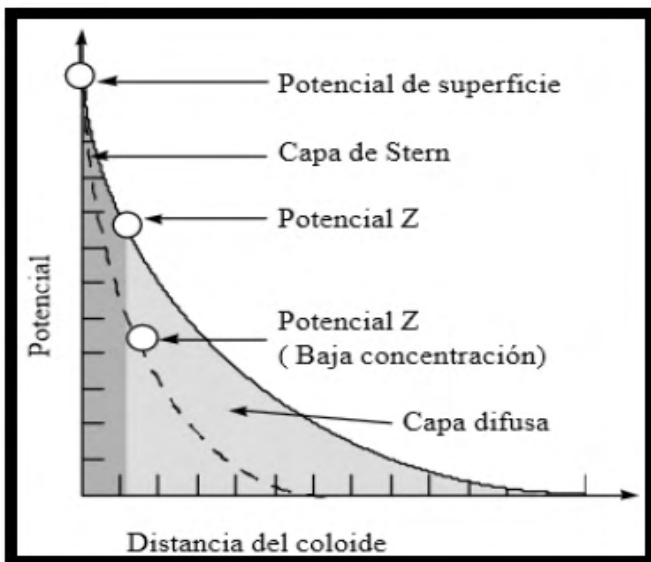
b) Desestabilización de partículas coloidales y emulsionadas:



Capas de un coloide

Fuente: (Yoval, et al., 2000).

c) Disminución del Zeta potencial, coagulación y floculación de partículas coloidales y emulsionadas:



Potencial Zeta y potencial superficial Fuente: (Yoval, et al., 2000).

## REACCIONES QUÍMICAS DE ELECTRODO

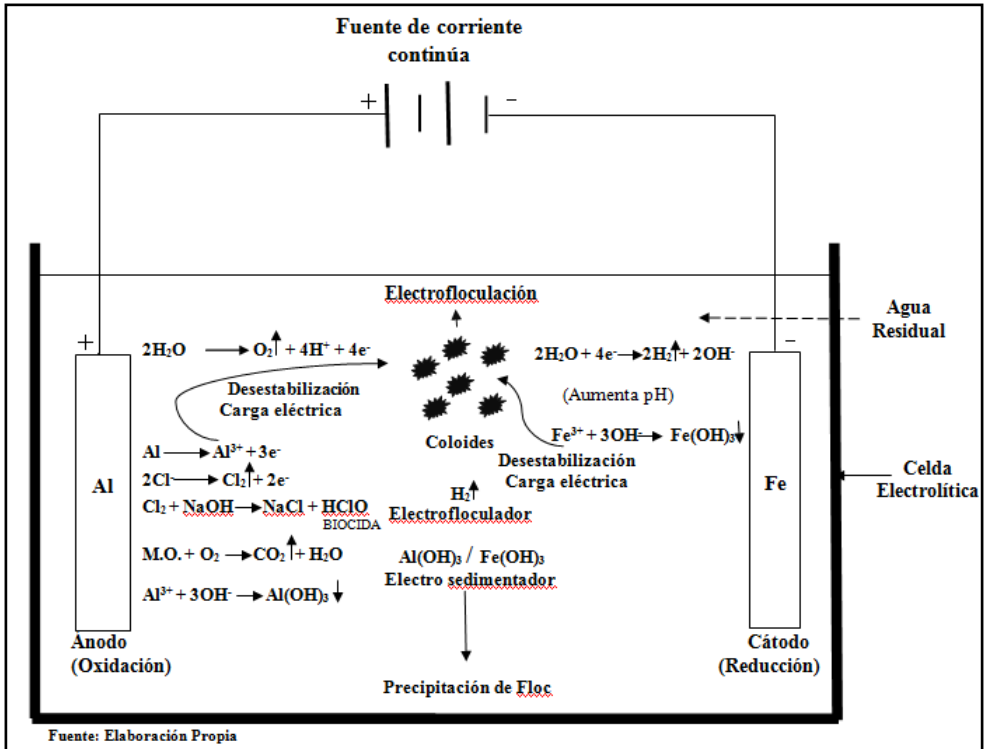
### Anodo

$2 H_2O \rightarrow O_2 \uparrow + 4 H^+ + 4 \bar{e}$	Formación de oxígeno molecular que evita malos olores y la eutrofización del agua electro coagulada.
$Al \rightarrow Al^{3+} + 3 \bar{e}$ $Al^{3+} + 3 OH^- \rightarrow Al(OH)_3 \downarrow$	Precipitado amorfo que atrapa materia electro coagulada y provoca su flotación y/o sedimentación.
$MO + O_2 \rightarrow CO_2 \uparrow + H_2O \uparrow$	-Oxidación de materia orgánica. -Disminución de DBO, DQO, COT, DOT.
$2 Cl^- \rightarrow Cl_2 \uparrow + 2 \bar{e}$ $Cl_2 + NaOH \rightarrow NaCl + HClO$	Generación <i>in situ</i> de un Agente biocida, HClO (eliminación de microorganismos patógenos)

### Cátodo:

$2 H_2O + 4 \bar{e} \rightarrow 2 H_2 \uparrow + 2 OH^-$	-Generación de Hidrógeno gaseoso- Agente electro floculador. -Aumento de pH. Favorece la precipitación de metales pesados tóxicos en forma de sus hidróxidos. -Disminución de la dureza del agua. -Neutralización del agua residual inicial (disminución de costos económicos por adición de agentes estabilizantes de pH).
$Fe^{3+} + 3 OH^- \rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow$	Precipitado amorfo que atrapa materia electro coagulada y provoca su flotación y/o sedimentación.
$HCO_3^- + OH^- \rightarrow H_2O + CO_3^{2-}$ $CO_3^{2-} + Me^{2+} \rightarrow MeCO_3 \downarrow$ $Me^{2+} = Ca^{2+}, Mg^{2+}, \text{ otros.}$	Eliminación de la dureza del agua.

## PROCESOS ELECTROQUÍMICOS DE ELECTRODO



## CONCLUSIONES

1. Por electrocoagulación se logró la eliminación del mercurio presente en el agua del río Arzobispo hasta MERCURIO CERO
2. Se diseñó y construyó un prototipo de celda electrolytica, que le imprime un valor agregado didáctico a la investigación
3. Se llevó a cabo la implementación industrial del prototipo a nivel de planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales de una industria de galvanoplastia
4. Se realizó un balance de costos del proceso, que permitió concluir que este es financieramente viable ( para electrocoagular hasta  $1\text{m}^3$  de agua residual)
5. La electrocoagulación es una tecnología emergente con amplias perspectivas de aplicación en pequeñas plantas de tratamiento de aguas y en países en desarrollo, ya que:
  - a) Los equipos requeridos son de fácil diseño y no requieren grandes espacios físicos
  - b) Se suprime el uso de sustancias químicas (coagulantes, floculantes, desinfectantes, reguladores de pH)

- c) Se disminuye sustancialmente la formación de lodos y la necesidad de su posterior tratamiento y disposición
- d) Los lodos generados tienen menor contenido de agua ligada, lo que facilita su tratamiento ya que se evita el proceso de secado

## REFERENCIAS

1. Arango Ruíz Álvaro. La electrocoagulación, una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista lasallista de investigación, vol. 2 N0 1. Corporación universitaria Lasallista. Medellín- Colombia. enero-junio-2005
2. Bain Robert, Evaluación global de la exposición a la contaminación fecal a través del agua potable- Instituto Del Agua. Universidad Carolina Del Norte. 8-mayo-2014.
3. Camaselle, MA. Sanromán. Pazos, M. t.Ricart c (2005). Decolorouzitación of textile índigo dye by electric current, artículo en internet, base de datos science Direct en Engeneering Geology-77.
4. Gleesson Tom et al, 2012. Balance hídrico de acuíferos globales, revelado por la huella por la huella de agua subterránea. Universidad MC GILL-MONTREAL-CANADA.
5. Ministerio de la protección social, Ministerio de Medio ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631-marzo-17-2015.
6. Mollah M, yousuf.journal de hazardous materials. Vol. 84. PP.29
7. Morales Posada Nelly Bibiana. Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas. Revista: Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 20-1, pp. 33-44. Bogotá, Junio de 2010. ISSN 0124-8170
8. Niño Acosta G. E. y otros. La electrocoagulación como un tratamiento eficiente para la remoción de metales pesados presentes en aguas residuales. Revista Universidad Militar Nueva Granada, Volumen 9, Número 2, Páginas 306-317 noviembre 2013. ISSN 1900-4699.
9. PNUMA, Programa De Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente. Evaluación Mundial Sobre Mercurio. GINEBRA-SUIZA-2002. Publicación en español-2005.



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Academic performance 130, 142, 143  
Aceites esenciales 1, 2, 5, 7, 20, 21  
Acoplamiento molecular 1, 4, 11  
Activación alcalina 55  
Agua residual 110, 111, 115, 117, 120, 121

### C

Catalytic pyrolysis 24, 25, 26, 28, 30, 31, 32  
Chikungunya 1, 2, 3, 21, 22  
Coagulación 110, 119  
Compuestos cementosos 55  
Concreto 53, 55, 61, 105, 145  
Costos 80, 81, 82, 83, 117, 120, 121  
Cultivo celular 3, 5, 6

### E

Educational research 130  
Eficiencia 51, 80, 81, 87, 88, 89  
Electrocoagulación 110, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 121, 122  
Estabilidad mecánica 92

### F

Floculación 110, 119  
Fundición 80, 81, 89, 90

### G

Género 37, 38, 39, 40, 42, 44, 46, 48, 49, 52  
Geología 62, 63, 64, 65, 67, 77, 79  
Geomorfología 62, 63, 64, 65, 66, 69, 77, 78, 79  
Geopolimerización 55, 56  
Geopolímeros 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61  
Grados de libertad 92, 94, 96, 100, 107, 108

## I

Instrumento MBI 37, 45

## L

Logistics models 123

## M

Materiales alternativos 53

Mejora 80, 81, 89, 90, 130

Mercurio 110, 111, 115, 116, 117, 121, 122

MIPYMES 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46, 48, 49, 51, 52

Morfodinámica 62, 71, 72, 73

Multivariate statistics 123

## N

Nivel de Burnout 37, 39, 40, 42, 44, 45, 46, 48, 49

## P

Performance improvement 123

Polymer 25, 26, 36

Polystyrene 24, 25, 26, 35, 36

Protocol formal description 130

## R

Recycling 24, 25, 36

Reducción 4, 5, 6, 13, 62, 74, 75, 80, 81, 84, 112, 118

Regression models 123, 127, 131, 143

Rio Sinú 62, 65, 66, 67, 77, 78, 79

Robot de rescate 92, 93, 94, 96, 100, 101, 106, 108

## S

Safety and Health Audits 123

Síndrome de Burnout 37, 39, 40, 42, 49

Sistemas mecánicos 92

Styrene 24, 25, 27, 30, 31, 35, 36

## V

Virus 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 13, 19, 20, 21, 22

## W

Waste 24, 25, 35, 36, 54

Workplace accidents 123, 129




Entre  
CIENCIA  
e  
INGENIERIA  
4

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 



Entre

# CIENCIA

e

# INGENIERIA

# 4

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 