

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR ELECTROQUÍMICO SEMI-
BACH ACOPLADO A UN SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS
FÍSICO-QUÍMICOS Y ELÉCTRICOS, PARA LA DEGRADACIÓN
OXIDATIVA DE CONTAMINANTES EMERGENTES EMPLEANDO UNA
CELDA DIACLEAN®**

TRABAJO RECEPCIONAL EN LA MODALIDAD DE:

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

MARTÍNEZ PEÑA JOSÉ LUIS

ASESORES:

DR. EN C. QUÍM. BERNARDO A. FRONTANA URIBE.

DR. EN ING. ARMANDO RAMIREZ SERRANO

TOLUCA, MÉX.

MAYO 2017

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de Electroquímica y Electro-síntesis del CCIQS, bajo la asesoría del Dr. Bernardo A, Frontana Uribe y el Dr. Armando Ramírez Serrano.

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades del NPEO	19
Tabla 2.2 Aplicaciones NPEO.....	20
Tabla 2.3 Especificaciones técnicas placa ARDUINO UNO ®.....	31
Tabla 2.4 Operadores Aritmeticos.....	37
Tabla 3.1 Costo del sistema de recirculación acoplado a la celda DiaClean® con electrodos de BDD	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Estructura molecular del NPEO	19
Figura 2.2 Hardware Arduino y cable USB.....	31
Figura 2.3 Pines de Alimentación placa Arduino	33
Figura 2.4 Entradas y salidas digitales.....	33
Figura 2.5 Entrada y Salida analógica	34
Figura 3.1 Perfil de flujo pistón	43
Figura 3.2 Sistema de recirculación DiaCel MR	43
Figura 3.3 Válvula de bola	45
Figura 3.4 Tanque de recirculación	45
Figura 3.5 Fuente de poder	46
Figura 3.6 Bomba Master Flex® B/M Cole Palmer.....	46
Figura 3.7 Intercambiador de calor aletado.....	47
Figura 3.8 Celda Electroquímica DiaClean®.....	48
Figura 3.9 Sensor de Corriente y Voltaje SHT- 166.....	49
Figura 3.10 Sensor de flujo FS300a.....	50
Figura 3.11 Sensor de temperatura LM35.....	50
Figura 4.1 Voltamperograma del NP10EO en una disolución amortiguadora de pH 9.25, Sales de amoniHCl0.5M.....	52
Figura 4.2 Voltamperograma del NP10EO en una disolución amortiguadora de pH 4.2, Sales de acetato 0.5M.....	52

Figura 4.3 Barrido mediante UV-Vis durante la degradación del NP10EO en una disolución amortiguadora de pH 9.25, Sales de amonio.....	54
Figura 4.4 Barrido mediante UV-Vis durante la degradación del NP10EO en una disolución amortiguadora de pH 4.2, Sales de acetato.....	56
Figura 4.5 Gráfico del comportamiento de temperatura con y sin el uso de intercambiador de calor del NP10EO; pH 4.2, Sales de amonio.....	57
Figura 4.6 Gráfico del comportamiento de el voltaje de los dos diferentes electrolitos	58
Figura 4.7 Gráfico del comportamiento del flujo a diferentes tiempos durante la degradación del NP10EO; pH 9.25, Sales de amonio.....	59
Figura 4.8 Gráfico del comportamiento del flujo a diferentes tiempos durante la degradación del NP10EO; pH 4.2, Sales de acetato.....	60

ABREVIATURAS

APEOs: Alquilfenoles etoxilatos (Alkylphenols ethoxylates)
AOPs: procesos de oxidación avanzada (Advanced Oxidation Processes)
°C: grados Celsius
Abs: Absorbancia
C: Concentración final
cm: centímetro
Co: Concentración inicial
h: hora
L: litros
Ln: logaritmo natural
LPH: litros por hora
LPM: litros por minuto
m: metro
mA: miliamperios
mg: miligramo
min: minuto
ne-: número de electrones
nm: nanómetro
NPOE: nonilfenol etoxilato
NP10EO: Nonilfenol etoxilato cadena 10 unidades de etilglicol
pH: potencial de hidrogeno
POPs: Contaminantes Orgánicos Persistentes (Persistent Organics Pollutants)
ppm: partes por millón
R: contaminante orgánico
s: segundos
t: tiempo

RESUMEN

En este trabajo de investigación se llevó a cabo el diseño y construcción de un reactor Semi-Bach acoplado a un sistema de monitoreo de interfaz a tiempo real de parámetros físico-químicos y eléctricos (temperatura, flujo volumétrico y voltaje) para la degradación oxidativa avanzada de contaminantes emergentes (empleando una celda DiaClean® con electrodos de diamante dopados con boro (BDD, por sus siglas en inglés) Él fue elaborado en el Centro Conjunto de Química sustentable UAEM-UNAM para la remoción de contaminantes recalcitrantes, tóxicos y no biodegradables en un reactor electroquímico Semi - Bach, se evaluó a través de la degradación de NONILFENOL con 10 unidades de óxido de etileno (NONILFENOL ETOXILATO 10 M, NP10EO), [100 ppm] mediante oxidación electroquímica avanzada, se concluye que el funcionamiento del dispositivo es una alternativa prometedora para la desinfección de aguas con alto contenido de tensoactivos de origen industrial.

La celda DiaClean® se acopló a un sistema de recirculación con una bomba peristáltica que permitió controlar el flujo del electrolito (un caudal de 12,6 L min⁻¹). Los electrolitos empleados en la degradación fue el sistema amortiguado 0.5 M NH₄OH / HCl 0.5 M. y el sistema amortiguador 0.5 M AcOH/ 0.5 M AcO⁻. Se estudió el efecto del uso y desuso de un intercambiador de calor con tubos alertados a una la densidad de corriente aplicada ($j = 40 \text{ mA/cm}^2$). Se encontró el comportamiento de temperatura, flujo y voltaje para cada uno de los dos electrolitos probados, mediante una serie de sensores codificados por medio de la tarjeta ARDUINO UNO MR y decodificado por la plataforma de programación Neat Beans Java MR.

INTRODUCCIÓN

Los efluentes industriales son muy difíciles de tratar satisfactoriamente debido a variaciones significativas en sus composiciones. Además, las aguas residuales industriales contienen contaminantes potenciales como resultado de sus altas cargas orgánicas, valores de pH. Las aguas residuales industriales contienen compuestos tales como aminas aromáticas, colorantes azoicos, grasas y sustancias pépticas, así como muchas macromoléculas diferentes (principalmente ligninas, taninos y ácido húmico) que son compuestos altamente estructuradas y son responsables de los procesos de coloración de las aguas residuales (Barrera-Díaz, 2012).

En los últimos años el desarrollo de una estricta legislación para preservar el medio ambiente se está convirtiendo en una preocupación prioritaria en muchos países del mundo. Uno de los aspectos que más preocupa actualmente es la contaminación de las aguas por sustancias orgánicas que no pueden ser eliminadas por tratamientos biológicos convencionales, debido a su naturaleza química o por encontrarse en una elevada concentración. Este tipo de compuestos se califican como contaminantes orgánicos persistentes o contaminantes emergentes. Los contaminantes emergentes son sustancias sintéticas bioactivas utilizadas en la agricultura, ganadería, industria, productos para la higiene y cuidado personal, fármacos de uso humano y veterinario, incluyendo subproductos de elaboración y degradación.

La entrada de estas sustancias en el medio acuático puede conllevar graves riesgos para el ser humano. Por lo tanto, es muy importante llevar a cabo la búsqueda de tecnologías que permitan eliminarlas eficazmente. En este sentido, los procesos de oxidación avanzada (Advanced Oxidation Processes, AOPs), basados en la generación de radical hidroxilo como agente oxidante de materia orgánica son, hoy en día, una de las alternativas más viables en este ámbito. En concreto, el proceso de electro oxidación con ánodo de Diamante Dopado con Boro (DDB), es considerado como uno de los AOPs más factibles debido a la elevada actividad que presenta el DDB frente a otros materiales electrolíticos.

En general, estas tecnologías son capaces de alcanzar muy buenos resultados en términos de degradación debido a la rápida escisión del grupo fenólicos de la molécula de contaminantes (M. d. Araújo, 2015).

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
INDICE DE TABLAS	III
INDICE DE FIGURAS	IV
ABREVIATURAS	V
RESUMEN	VI
INTRODUCCIÓN	VII

CAPITULO I ASPECTOS GENERALES

1.1.- OBJETIVOS	13.
1.1.1-OBJETIVO GENERAL	13
1.1.2.-OBJETIVOS PARTICULARES	13
1.2.-JUSTIFICACIÓN	13
1.3.-HIPÓTESIS	14

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1- LA CONTAMINACIÓN.....	16
2.2- ACTUALIDAD DE LA CONTAMINACIÓN POR CONTAMINANTES EMERGENTES.....	17
2.3- CONTAMINANTES ORGÁNICOS EMERGENTES (POP'S)	18
2.3.1- ALQUIFENOLES ETOXILATOS (APEO'S)	18
2.3.1.1.-. NONILFENOL ETOXILATO (NPEO) Y SUS APLICACIONES	19
2.3.1. 2- NONILFENOL ETOXILATO Y SUS EFECTOS EN SERES VIVO	20
2.4- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	21
2.4.1- TRATAMIENT DE AGUA POR MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS DE AGUA RESIDUALES.....	24
2.4.2. CELDA ELECTROQUÍMICA	27
2.5 QUÍMICA AMBIENTAL Y QUÍMICA VERDE	28
2.6- MONITOREO DE INTERFAZ EN TIEMPO REAL	30
2.7- PLATAFORMA DE PROGRAMACIÓN ARDUINO UNO ®	31
2.8- ESTRUCTURAS BÁSICAS DE PROGRAMACIÓN EN JAVA.....	34

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO DEL REACTOR ELECTROQUÍMICO SEMI-BACH.....	43
3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL DE TUBERIA Y ACCESORIOS	44.
3.1.2 DESCRIPCIÓN BOMBAPERISTALTICA.....	46

3.1.3. DESCRIPCIÓN CONTROL DE TEMPERATURA DE SISTEMA.....	47
3.1.4 CELDA ELECTROQUÍMICA DIACLEAN.....	47
3.2 DESARROLLO SISTEMA DE MONITOREO.....	48
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 CARACTERIZACIÓN DE ELECTROLITOS POR VOLTAMPEROMETRÍAS CÍCLICAS	52
4.2 PROCESO DE DEGRADACIÓN EN SISTEMA ELECTROQUÍMICO	53
4.2.1 1 ESTUDIO DE LA ABSORBANCIA POR ESPECTROFOTOMETRÍA (UV-VIS)	53
4.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE TEMPERATURA EN EL REACTOR ELECTROQUÍMICO.....	56
4.2.3 DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE VOLTAJE EN EL REACTOR ELECTROQUÍMICO.....	58.
4.2.4 DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE FLUJO EN EL REACTOR ELECTROQUÍMICO.....	59
CAPITULO V	
5.1 CONCLUSIONES.....	62
REFERENCIAS.....	63
ANEXOS.....	69

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1.-OBJETIVOS

1.1.1.- OBJETIVO GENERAL:

Diseñar y construir un reactor electroquímico Semi-Bach para la degradación oxidativa de contaminantes que emplee una celda DiaClean®, que incluya un sistema de monitoreo los parámetros químicos y eléctricos de su operación

1.1.2.-OBJETIVOS PARTICULARES:

1. Diseñar y construir un reactor electroquímico Semi Bach para la degradación oxidativa de contaminantes que emplee una celda DiaClean®.
2. Caracterizar agua contaminada sintética con NPEO-10 por las técnicas de espectrofotometría UV-Vis, voltamperometría cíclica.
3. Desarrollar un Instrumento virtual (VI) que nos permita monitorear los parámetros físico-químicos y eléctricos de su operación (Temperatura, presión y voltaje) a través de sensores de adquisición de datos empleando la plataforma de diseño de sistemas Neatbeans- JAVA.
4. Probar el sistema con agua sintética para determinar el efecto del bombeo en la temperatura y voltaje, así como evaluar la eficiencia del tratamiento electroquímico mediante las pruebas fisicoquímicas de UV-Vis.

1.2.- JUSTIFICACIÓN

La actual situación que afronta el ambiente a nivel mundial, pone en compromiso a la población con el equilibrio natural, razón por la cual, se ha empezado a tomar medidas de mitigación de los efectos antrópicos que se producen. En el caso del agua, siendo el recurso más importante para la vida del planeta, se ha convertido en uno de los recursos más afectado, descuidado y mal utilizado. En muchos países no se le ha prestado atención al tratamiento de aguas residuales y a la recuperación de fuentes acuíferas que han sido contaminadas, como consecuencia las fuentes hídricas son cada vez más escasas (WMO-USEP, 2002).

El progreso de la sociedad trae consigo más necesidades que son satisfechas con los bienes y servicios que proveen las industrias. Sin embargo, la producción industrial genera la mayor cantidad de contaminantes químicos al ambiente, a través de las descargas de aguas contaminadas sin remediación previa (Quezada, 2011).

Entre las diferentes industrias que generan grandes cantidades de agua residual a nivel mundial, se encuentran las industrias farmacéuticas, que generan miles de compuestos

químicos, muchos de ellos muy estables en la naturaleza y a la vez muy peligrosos. Estos compuestos cuando son descargados al ambiente pueden transportarse y distribuirse por los mantos acuíferos, el aire o el suelo (Quezada, 2009).

La industria en México actualmente genera 6.7 miles de millones de metros cúbicos de aguas residuales al año, y se espera que este volumen aumente a 9.2 miles de millones de metros cúbicos en 2030.

De acuerdo a Conagua, 2016 “*Agenda del Agua 2030*” únicamente se tratan el 13%, por ello es de vital importancia que el porcentaje de tratamiento en México aumente, no solo por fines ecológicos, sino también para su reusó, por lo que la puesta en marcha de procesos de depuración de efluentes eficiente e innovadora y una cultura del cuidado y reciclado del agua han mostrado un creciente interés para la solución de este problema.

1.3.-HIPOTESIS

El funcionamiento correcto de un reactor electroquímico Semi-Bach puede ser monitoreado mediante el uso de sensores y una plataforma de programación ARDUINO UNO MR, para la degradación de NPEO-10 (de al menos el 80% para este contaminante) en un medio acuoso sintético

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación del agua se define como la presencia de sustancias u organismos extraños en un cuerpo de agua, que impide su utilización con los propósitos determinados (Arrellano, 2002). La contaminación del recurso hídrico puede ser natural o antropogénica. La contaminación antropogénica ha ganado gran importancia en estos últimos años por el desarrollo e industrialización que implica un mayor consumo de recursos y con ello una gran generación de residuos y desechos, muchos de los cuales van a parar en los cuerpos de agua (Glynn & Gary, 1999). Los principales contaminantes que se descargan en los cuerpos de agua, son los siguientes:

- ❖ Compuestos orgánicos biodegradables
- ❖ Sustancias peligrosas
- ❖ Contaminación térmica
- ❖ Agentes tensoactivos
- ❖ Nutrientes en exceso
- ❖ Gérmenes patógenos
- ❖ Sustancias radiactivas

La contaminación del agua se clasifica de dos maneras: directa e indirecta. La contaminación directa es aquella generada por la descarga de efluentes industriales o de plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentran fuera de los límites establecidos y no cumplen con las normas (Bernal Martinez L. et al. 2014), mientras que la contaminación indirecta es consecuencia de actividad humana, agropecuaria y doméstica (Oller I. et al., 2011), por lo que los criterios de la calidad de agua y las medidas de los parámetros fisicoquímicos y biológicos forman parte de la determinación de la integridad ecológica del cualquier sistema acuático (Hahn-von Hassberg, 2009).

El agua cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie total de la Tierra; sin embargo, no toda esta disponible para el consumo humano, ya que está limitada por diferentes factores como sus propiedades físicas, químicas, biológicas y bacteriológicas. Debido a sus propiedades fisicoquímicas, el agua se comporta como un disolvente de compuestos orgánicos e inorgánicos; esto da como resultado que un gran número de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas modifiquen las propiedades y la calidad del agua (Raggio M. y Moron de Raggio N., 2006).

El agua se considera un recurso renovable pues se renueva constantemente a través del ciclo hidrológico. Sin embargo, esto no significa que este recurso sea infinito, ya que su consumo aumenta rápidamente y sus fuentes de suministro cada día se encuentran más amenazadas debido a su contaminación. Según el informe de la UNESCO, 2016 *“El Agua en el siglo 21”* enfatiza que el conflicto que recae en la humanidad por la disminución de

este recurso. Además, el Instituto Internacional de Recursos Hídricos (IWMI) pronostica que para alimentar al planeta dentro de 20 a 30 años el sector agrícola requerirá al menos 17% más del agua de lo que se consume actualmente.

La contaminación del agua y la degradación de los ecosistemas asociados a ellos, son dos problemas que afectan al ambiente. Esto es debido al crecimiento poblacional que conlleva a una mayor demanda de agua, además de la falta de cumplimiento de normas y la ausencia de aplicaciones de sanciones a los causantes de impactos ambientales. Cabe señalar que la mayor causa que altera la calidad del agua es el vertimiento de aguas residuales con sólidos, agroquímicos y nutrientes que por escorrentía se desplazan en los cuerpos de agua. Junto a éstos, los principales agentes de contaminación son: las poblaciones, las actividades industriales y agropecuarias.

2.2.- ACTUALIDAD DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR CONTAMINANTES ORGÁNICOS EMERGENTES.

Los contaminantes emergentes son todos aquellos compuestos químicos que alteran las funciones endocrinas y bloquean o perturban las funciones hormonales, afectando a la salud de los seres humanos y de especies animales. Estos contaminantes persisten en el ambiente en concentraciones muy bajas, generalmente en partes por millón o trillón y la mayoría de estos no se encuentran regulados o reglamentados, pero por su toxicidad estarán sujetos a futuras regulaciones. Una de las principales fuentes de contaminantes emergentes son las aguas residuales que no reciben ningún tratamiento y los efluentes de plantas tratadoras de aguas, las cuales no están diseñadas para tratar este tipo de sustancias, por lo que una alta proporción de estos compuestos no sufren ningún cambio molecular y entran al medio acuático, con gran toxicidad (Dougherty et al., 2010).

La actual realidad de los recursos hídricos a nivel mundial, pone en consideración su conservación, ya que este recurso se vuelve cada vez más escaso, a causa de los procesos de contaminación y a la falta de políticas para realizar una gestión integral. (Bermeo Noboa, 2005), en México la contaminación del agua ha alcanzado elevadas dimensiones que explican el deterioro de la calidad de los cuerpos de agua del país. Esto se ve reflejado en el mínimo marco de regulación y su amplio incumplimiento, lo que ha permitido a las industrias descargar desechos o sus aguas residuales, bajo el supuesto de que la capacidad de asimilación o desintegración de estos es infinita. (Morales y Rodríguez, 2013).

La evaluación de la calidad del agua en México se lleva a cabo utilizando tres indicadores: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición natural del agua o sin influencia de la

actividad humana, hasta el agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales. (CONAGUA, 2015)

2.3.- CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES Y LOS CONTAMINANTES EMERGENTES

En los últimos años el desarrollo de una estricta legislación para preservar el medio ambiente se está convirtiendo en una preocupación prioritaria en muchos países del mundo. Uno de los aspectos que más preocupa actualmente es la contaminación de las aguas por sustancias orgánicas que no pueden ser eliminadas por tratamientos biológicos convencionales, debido a su naturaleza química o por encontrarse en una elevada concentración. Este tipo de compuestos se califican como Contaminantes Orgánicos Persistentes (Persistent Organics Pollutants, POPs) o contaminantes emergentes. La entrada de estas sustancias en el medio acuático puede conllevar graves riesgos para el ser humano. Por lo tanto, es muy importante llevar a cabo la búsqueda de tecnologías (Martín de Vidales, 2012)

Por su carácter tóxico, los POPs están ligados a una serie de efectos nocivos para la salud humana, como trastornos congénitos, daño del sistema inmunológico y respiratorio, problemas reproductivos, desórdenes de índole sexual, periodos de lactación humana más cortos y mal funcionamiento endócrino. La organización Mundial de la Salud, OMS, a través de su Agencia Internacional para la investigación del cáncer, considera a muchos de los POPs como potenciales carcinógenos humanos. Estudios de laboratorio y de campo en especies de fauna silvestre han mostrado algunos de los efectos de salud debida a la exposición a los POPs como alteraciones dermatológicas, discapacidad reproductiva, deformaciones, deficiencias hormonales, cáncer, mortalidad aumentada y disminución de la población en general. De acuerdo al Convenio de Estocolmo, la persistencia de estos compuestos se determina mediante evidencias de vida media del producto químico en agua por más de dos meses, o de vida media en tierra o sedimentos por más de seis meses.

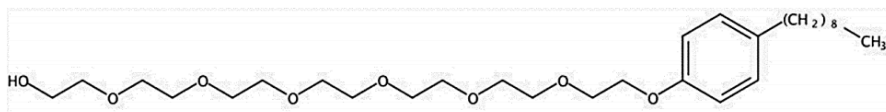
2.3.1. ALQUIFENOLES ETOXILATOS (APEOS) UN EJEMPLO DE POP'S

El nonilfenol etoxilato (NPEO) es un compuesto que pertenece a la familia de los alquifenoles etoxilato (APEOs). Este compuesto es altamente rentable en procesos químicos con uso de tensoactivos no iónicos, y por tal razón, es utilizado en aplicaciones industriales, institucionales, agentes humectantes, emulsificantes y solubilizantes (Vincent & Sneddon, 2009).

La estructura química del NPEO está formada por un anillo fenólico que contiene un radical alquilo unido a una cadena lateral de grupos etóxilo. La síntesis industrial del NPEO inicia con la alquilación del fenol usando trimetil pentano, para originar 4- (1, 1, 3,3-

tetrametilbutil) fenol (4-terc-octilfenol) o con una mezcla de isómeros noneno para originar 4-nonilfenol, que se realiza bajo un catalizador ácido. Posteriormente, la etoxilación se lleva a cabo mediante reacciones de polimerización y condensación con óxido de etileno, bajo un catalizador básico (Jiménez, 2009). Finalmente, en una cadena etoxilada con una longitud que sigue la distribución de Poisson. (Soto, Justicia, & Sannenschein, 1992).

Figura 2.1- Estructura molecular del NPEO:



Fuente: Armijos, K 2015

Tabla 2.1 Propiedades NPEO

Compuesto	Moles de óxido de etileno (n)	Peso (g/mol)	Solubilidad H ₂ O 20.5°C (mg/L)	Log Kow	Bioacumulación (BCF)	Bioconcentración	DQO (mg/L)	Fuente
Nonilfenol	-	220	5,43	4,48	-	-	-	(Castro, 2010)
Nonilfenol etoxilado	1	264	3,02	4,17	-	-	-	(Castro, 2010)
Nonilfenol etoxilado	7	525	37,28-49,47	3,7-4,5	Moderada (100-200)	7-110; (peces)	-	(Dow Chemical, 2014)
Nonilfenol etoxilado	9	615	65,82-83,3	-	-	-	-	(Poliolos, S.A de CV, 2011)
Nonilfenol etoxilado	10	660	83,3-103,88	2,1-3,4	-	5.9-48 (peces)	2.09-2.25	(Poliolos, S.A de CV, 2011) (Dow Chemical,
Nonilfenol etoxilado	15	880	202,8-239,4		-	-	2.2	(Poliolos, S.A de CV, 2011) (Dow Chemical,

Fuente: Armijos K, 2015

2.3.1.1. NONILFENOL ETOXILATO DE CADENA 10 Y APLICACIONES (NP10EO)

Desde que el nonilfenol fue sintetizado por primera vez en 1940, su uso y la producción se han incrementado exponencialmente. En promedio la producción mundial ha alcanzado 300 000 ton/año. Sin embargo, en algunos países europeos se realizan campañas para evitar el uso de este compuesto y en otros ya no se utiliza (Valdés 2008).

Aunque no existen registros de la producción, importación y exportación del nonilfenol etoxilato, el mercado de productos de limpieza y aseo personal es muy amplio, al igual que el número de empresas dedicadas a la rama industrial (Soares, Guieysse, et. al, 2008). Por lo tanto, se puede predecir la aplicación del compuesto en estudio, tanto a nivel nacional como mundial (Véase Tabla 2.1).

Tabla 2.2 Aplicaciones NP10EO

Área	Aplicaciones
Agricultura	Plaguicidas, humectantes, abonos
Higiene Personal	Maquillajes, fragancias, tintes, acondicionadores para el cabello, cremas, desodorante
Curtiembre	Desengrase, aditivos de pasta, engrasantes, teñido, productos de ignición
Limpiadores caseros	Detergente común, jabón de lavandería, detergente líquido
Limpiadores industriales	Limpiadores de piso, removedor de cera, pinturas
Pinturas de emulsión	Aditivos, compuestos vinílicos-estireno, acrilatos, ayuda al desarrollo del color, humectación de los pigmentos.
Petróleo	Tratamiento de pozos de gas, acidificación de pozo de aceite, recuperación de aceites secundarios
Procesos de metales	Limpiadores alcalinos, limpiadores ácidos, limpieza electrónica
Pulpa de papel	Lavado de pulpa, trapos de desperdicio, acondicionamiento de papel para pañuelo y toallas suaves
Farmacéuticas	Mejorar la velocidad de disolución de los ingredientes activos de supositorios, facilita la solución y aumenta la estabilidad de las emulsiones de soporte de fármacos y modifica el tamaño de las drogas que se precipitan

Fuente: Valdéz, 2018

2.3.1.2. NONILFENOL ETOXILATO (NPEO) Y SU EFECTOS SOBRE LOS SERES VIVOS

Datos del NPEO indican que a pesar de su baja volatilidad han sido detectados en el ambiente urbano, indicando que puede transferirse desde el agua o el suelo contaminado. Además, estos compuestos se bio-acumulan en varias especies acuáticas, como: peces, algas, aves, moluscos y crustáceos; donde se ha observado factores de bio-concentración que varían entre 100 y 3 400 veces (Soto, 1992). Por tal razón, los APEOs se exponen a la

bio-magnificación a través de la cadena alimenticia, que depende de la capacidad metabólica de los organismos (Nimrond & Benson, 1996; Valdés 2008).

En cambio, en los humanos el NPEO tienen un alto potencial de exposición, a través, del suministro de agua, lodos provenientes de aguas depuradas que son utilizados como fertilizantes, la fauna y flora acuática destinada para alimento, además, por el uso directo de APEO como espermicida y finalmente como parte de la fabricación de alimentos envasados (Ayorinde & Elhilo, 1999). Sin embargo, una ruta menor la constituye la inhalación en el aire contaminado en las zonas urbanas o rurales tras la aplicación de plaguicidas en forma de spray. A pesar que este tensioactivo ha sido constituido como disyuntor endócrino, no se ha encontrado estudios en humanos acerca de efectos reproductivos. Hasta cierto punto, se puede decir, que si el ser humano tiene un periódico contacto con el NPEO o cualquier APEO se puede tener efectos de bio-acumulación (Nimrond & Benson, 1996; Valdés 2008).

2.4. TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES

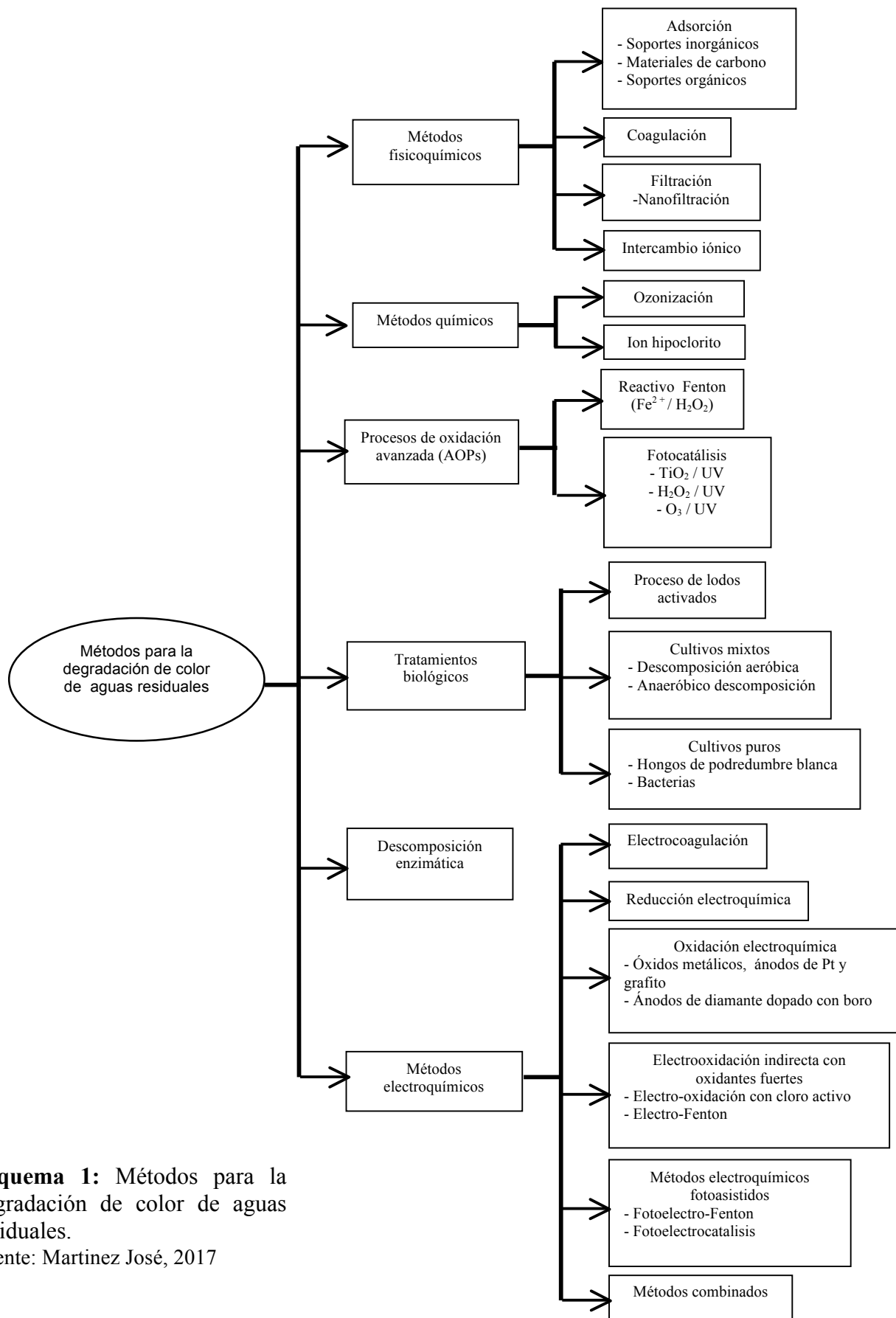
En los últimos años, se han desarrollado varias técnicas para tratamiento del agua, tanto para potabilización como tratamiento final, las cuales, se han combinado con técnicas modernas físico-químicas. El tratamiento del agua es una de las formas más antiguas de protección a la salud pública, que inicia a finales del siglo XIX con bases empíricas, y posteriormente se inicia el desarrollo metódico (Valdés 2008).

Varios métodos electroquímicos como: reducción electroquímica, oxidación electroquímica, oxidación avanzada (ánodo de óxido de metal, ánodo platino, ánodos de diamante dopados con boro), electrooxidación indirecta con la generación de oxidantes fuertes (cloro activado, electrofenton), métodos electroquímicos foto-asistidos (fotoelectrofenton, fotoelectrocatalisis) (Martínez-Huitile, 2009). Además, uno de los avances recientes en el campo de la electroquímica ambiental es el desarrollo de los electrodos dimensionalmente estables y el desarrollo del electrodo de diamante dopado con boro (BDD, por sus siglas en inglés) (MartínezHuitile, 2009). Estos electrodos tienen la particularidad de generar radicales hidroxilos ($\bullet\text{OH}$) sobre la superficie cuando se alcanza el potencial de oxidación del agua. Estos $\bullet\text{OH}$ son capaces de oxidar cualquier molécula orgánica presente en medio acuoso. La particularidad del BDD, aparte de producir una gran cantidad de $\bullet\text{OH}$ fisisorbido, es un electrodo muy estable incluso a condiciones extremas de pH y temperatura (Martínez-Huitile 2008).

El objetivo del tratamiento era eliminar residuos, reducir el riesgo a la salud y mejorar la calidad en cuanto a olor, color y sabor. sin embargo, el principal interés en el agua es

debido a la escasez de fuentes hídricas en el planeta, ya que se ha rebasado el nivel de auto depuración de los cuerpos de agua (Arrellano, 2002). En el esquema 1 se muestra los diferentes métodos para la degradación de contaminantes en aguas residuales.

En las últimas dos décadas, los contaminantes emergentes han aumentado el interés científico, ya que su emisión en el medio ambiente aumenta la presencia de bacterias resistentes, además debido a sus propiedades fisicoquímicas como su alta solubilidad en agua y el ser poco biodegradable, los vuelve capaces de llegar a cualquier medio natural y presentar un grave riesgo para el consumo de agua potable. (Garcia Gomez C. et al.2011).



Esquema 1: Métodos para la degradación de color de aguas residuales.

Fuente: Martínez José, 2017

Los procesos de tratamiento convencionales como digestión aeróbica o anaeróbica, compostaje o calcinación y el tratamiento fisicoquímico como la coagulación, floculación y cloración se han utilizado para eliminar contaminantes emergentes en aguas residuales, sin embargo, estos no son capaces de degradar completamente estos compuestos, por lo que se han estudiado procesos de tratamiento alternativos para reducir la concentración de contaminantes emergentes en aguas residuales.

En este sentido los procesos de oxidación avanzada, específicamente la oxidación electroquímica con ánodo de diamante dopado con boro (DDB) ha demostrado ser una tecnología robusta y eficaz para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con todo tipo de compuestos de naturaleza orgánica. (Matin de Vidales Calvo M.J., 2015).

2.4.1. TRATAMIENTO DE AGUA POR MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS DE AGUAS RESIDUALES.

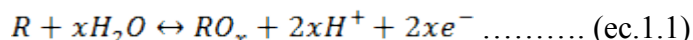
El tratamiento de efluentes industriales por métodos electroquímicos es una de las muchas alternativas que existen para el tratamiento de las aguas residuales, ya que estos presentan ciertas ventajas sobre los tratamientos convencionales, debido que son capaces de tratar agua de origen residual (Zimbron, 2009) o municipal que posean temperaturas elevadas, sustancias orgánicas con baja biodegradabilidad y elevada solubilidad (Navarroa, 2011).

La oxidación de los contaminantes en una celda electrolítica puede ocurrir a través de los siguientes procesos:

Oxidación directa: La transferencia de electrones se da entre las especies orgánicas y la superficie del electrodo.

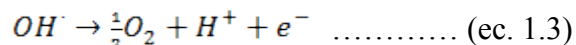
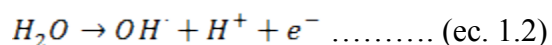
En este caso la electro-oxidación puede ocurrir directamente sobre los ánodos por generación físicamente absorbida de “oxígeno activo” (absorbida por radicales OH[•]) causando la completa combustión de compuestos orgánicos o quimisorbido “oxígeno activo”, el oxígeno activo participa en la formación de productos de oxidación selectiva (MO_{x+1}). (Rivera, 2011).

En general la oxidación electroquímica se produce mediante reacciones anódicas en las que el oxígeno es transferido desde el disolvente a los productos de deben oxidarse.



Al aplicar una intensidad de corriente determinada el agua se oxida a oxígeno, obteniéndose como intermedio de reacción, radicales reactivos OH[•] que atacan al componente orgánico a

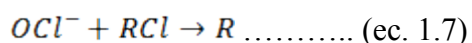
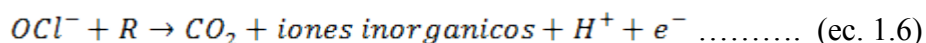
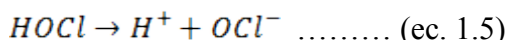
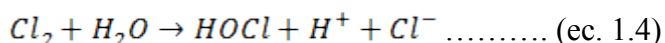
destruir y que se generan directamente en la superficie del ánodo, quedando adsorbidos en él. (Rivera, 2011).



En la oxidación anódica no es necesario adicionar químicos al agua residual o alimentar oxígeno a los cátodos, no existe tendencia a producir contaminación secundaria y se requiere de pocos accesorios.

Oxidación indirecta: Los compuestos orgánicos no interactúan directamente con la superficie del electrodo, sino que el proceso tiene lugar a partir de la intermediación de algunas especies electro activas (fuertes (Cl_2 , O_3 , $S_4O_8^{2-}$, entre otros). La acción de estas especies oxidantes conduce a la descontaminación total o parcial (Rivera, 2011).

Las siguientes reacciones reflejan el mecanismo de degradación de los contaminantes orgánicos (R) por oxidación anódica indirecta con cloro (Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014):



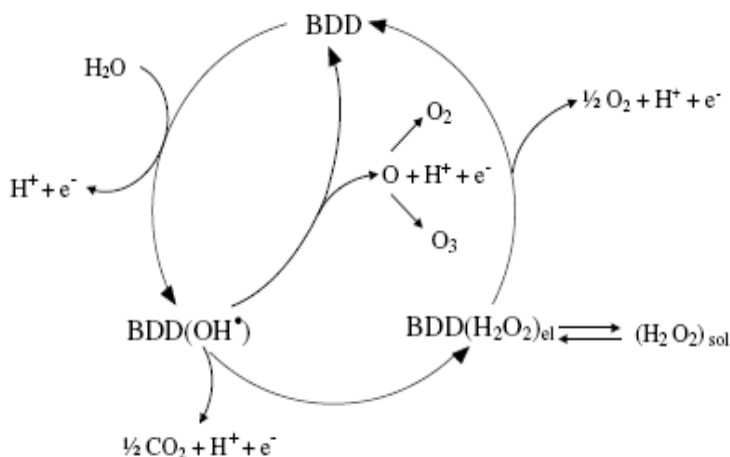
La selección del material de los electrodos depende del tipo de aguas residuales. Comúnmente, materiales de aluminio y de hierro se utilizan generalmente para el tratamiento de aguas residuales textiles ya que son capaces de producir in situ coagulantes o reactivo Fenton para eliminar los compuestos colorantes. Otros materiales comunes son acero inoxidable, fieltro de carbono, grafito, diamante dopado con boro (DDB) y dióxido de titanio dopado con bismuto (BiO_x-TiO_2). Los electrodos con materiales basados en carbono son más baratos, pero de difícil aplicación en procesos a gran escala debido a su fragilidad, naturaleza voluminosa además con una alta resistividad eléctrica. DDB es considerado como un excelente material en el proceso electroquímico, ya que tiene alta estabilidad anódica y aceptable conductividad (Kondo *et al.* 2014). DDB permite la mineralización del 100% de eficiencia de un gran número de compuestos orgánicos. Mucho trabajo se ha

centrado en el tratamiento de diferentes colorantes y la selección de las condiciones experimentales para mejorar el rendimiento de esta técnica. Este material sintético depositado sobre varios soportes como Nb, Ti y Si ha sido ampliamente aplicado en el tratamiento de colorantes.

Una investigación enfocada al mejoramiento entre la combinación del proceso de ozonización y el proceso de coagulación electroquímica se obtuvo como resultado una alta eficacia en términos de reducción de color, turbidez, y la demanda química de oxígeno (DQO), así mismo mostrando los efectos de los parámetros de operación tales como el tiempo de tratamiento, la densidad de corriente, y el pH inicial. La combinación de los procesos de electrocoagulación y ozonización resulta en una sinergia que mejora en gran medida las extensiones y las tasas de eliminación de la DQO, el color y la turbidez de un efluente industrial químicamente compleja. Un máximo de 79% de eliminación de DQO se logró mediante el proceso combinado a pH 7 y 50 mA / cm². La ozonización por sí sola es eficaz para reducir el color, pero no es tan eficaz en compuestos orgánicos persistentes completamente oxidantes y reduciendo así la DQO en los efluentes industriales (Barrera-Díaz, 2012).

En el proceso de electrocoagulación, se han empleado electrodos de hierro el cual se utiliza como ánodo para la generación in situ de agentes coagulantes, mientras que en el proceso de electro-Fenton con peróxido de hidrógeno el ion ferroso se introduce químicamente a la celda electroquímica para la formación de reactivos de Fenton. Con el fin de combinar la coagulación y la oxidación de Fenton en el proceso de electrocoagulación, el peróxido de hidrógeno se puede añadir al reactor electroquímico como uno de los reactivos de Fenton (Ghanbari *et al.* 2015).

El principal interés se centra en el empleo de electrodos de diamante dopados con boro (BDD) debido a la gran generación de radical hidroxilo (OH[•]), para la degradación de ciertos colorantes presentes en el agua residual. Como se muestra en la imagen.



Esquema 2. Esquema del mecanismo de oxidación del agua y la etapa en la que se lleva a cabo la mineralización de los compuestos orgánicos, sobre un electrodo de BDD.

Así mismo se han realizado diferentes investigaciones sobre el empleo de ánodo BDD en un proceso electroquímico foto asistido para la degradación de

diversos colorantes. En una investigación, se utilizó DDB para la degradación Azul ácido 92, como un modelo de contaminantes de las industrias textiles, así mismo se comparó con la fotólisis directa y procesos electroquímicos que utilizan el sistema de recirculación que consiste en ánodo BDD bajo irradiación UV (Vahid, 2013).

2.4.2. CELDA ELECTROQUÍMICA

Una celda electroquímica es un dispositivo simple de dos electrodos y un electrolito. En ella pueden realizarse procesos electroquímicos con el paso de una corriente eléctrica. Si la celda electroquímica es capaz de producir energía eléctrica, causada por el consumo de energía química, se dice que tenemos una celda galvánica o pila.

Si, la celda electroquímica consume energía de una fuente externa, para realizar una acción química, se dice que tenemos una celda electroquímica o también llamada electrolítica.

Para la notación de los dos electrodos en una celda electroquímica (galvánica o electrolítica) son válidas las siguientes definiciones generales: El ánodo es el electrodo en el cual, o a través del cual, la corriente positiva pasa hacia el electrolito. El cátodo es el electrodo en el cual entra la corriente positiva proveniente del electrolito.

Generalmente, se toman como válidas las siguientes reglas:

I- La reacción anódica es una oxidación y la reacción catódica una reducción.

II- Los aniones (iones negativos) migran hacia el ánodo y los cationes (iones positivos) hacia el cátodo. Hay que hacer notar que particularmente en una celda galvánica, por ejemplo, en una pila seca, la corriente positiva fluye del polo (+) al (-) en el circuito externo, mientras que dentro de la celda electrolítica, la corriente positiva fluye del (-) al (+).

Al aplicar corriente eléctrica en un reactor electroquímico induce reacciones de oxidación y reducción que resulta en la transformación y la posible destrucción de los compuestos orgánicos y la oxidación casi completa a dióxido de carbono y agua.

La oxidación de los contaminantes en una celda electrolítica puede ocurrir a través de los siguientes procesos:

Oxidación directa: La transferencia de electrones se da entre las especies orgánicas y la superficie del electrodo.

En este caso la electro-oxidación puede ocurrir directamente sobre los ánodos por generación físicamente absorbida de “oxígeno activo” (absorbida por radicales $\text{OH}\cdot$) causando la completa combustión de compuestos orgánicos o quimisorbido “oxígeno

activo”, el oxígeno activo participa en la formación de productos de oxidación selectiva (MO_{x+1}). (Rivera, 2011). Las celdas electroquímicas DiaClean® se ha utilizado en varios procesos tales como la desinfección sin adición de cloro, para los procesos de oxidación avanzada y tratamiento de aguas residuales.

2.5. LA QUIMICA AMBIENTAL Y QUIMICA VERDE

Problemas ambientales como el cambio climático, la contaminación del aire y de los recursos hídricos, la erosión, la deforestación, el declive de la biodiversidad, y el deterioro de la capa de ozono, entre otros, han avanzado de forma progresiva en los últimos años, afectando la calidad de vida de los habitantes del planeta y la integridad de su patrimonio natural, lo cual ha generado la necesidad de promover acciones tendientes a preservar el medio ambiente.

Gran parte de estos problemas se genera por procesos químicos, uso indiscriminado de recursos naturales, manejo inadecuado de residuos industriales, agrícolas y domésticos. Por consiguiente, ha surgido un conjunto de acciones encaminado a reducir el deterioro ambiental, denominado “química verde”. Desde su inicio conceptual en 1991, la química verde ha crecido de forma continua nacional e internacionalmente, con la creación de organismos, redes, instituciones, revistas y programas educativos. La implementación de la química verde tiende a reducir y eliminar sustancias peligrosas para el medio ambiente y la salud desde la industria química. En este sentido, se han propuesto prácticas destinadas a favorecer la sostenibilidad del Planeta, mediante la conservación y uso racional de bienes y servicios medio ambientales, así como la planificación y administración eficiente de los recursos naturales por parte de las autoridades competentes, teniendo en cuenta tres aspectos fundamentales: el ambiente, la economía y la sociedad

En la actualidad han surgido un conjunto de acciones encaminado a reducir el deterioro ambiental, denominado “química verde” Según la US Environmental Protection Agency (EPA,2016), la química verde es el “uso de la química para la prevención de la contaminación, y el diseño de productos químicos y procesos benéficos para el ambiente” en este precepto La química verde plantea 12 principios para conseguir sus objetivos

- I. Prevenir la creación de residuos. Resulta más útil evitar o reducir la producción de desechos que tratarlos o limpiarlos tras su formación.
- II. Maximizar la economía atómica. Los métodos sintéticos deben maximizar la incorporación de cada material utilizado en el proceso.
- III. Realizar síntesis química menos peligrosa. Consiste en elaborar procesos que generen la mínima toxicidad e impacto ambiental.

- IV. Diseñar productos y compuestos menos peligrosos. Los productos químicos se deben diseñar con una toxicidad mínima.
- V. Utilizar disolventes y condiciones seguras de reacción. Las sustancias auxiliares de los procesos químicos (disolventes, tampones, aditivos de separación, entre otros), han de ser inocuas y reducirlas al mínimo.
- VI. Diseñar para la eficiencia energética. Debe minimizarse los requerimientos energéticos para los procesos químicos, los cuales serán evaluados por su impacto medioambiental y económico, y reducirlos al máximo, intentando llevar a cabo los métodos de síntesis a temperatura y presión ambiente.
- VII. Utilizar materias primas renovables. Los materiales de partida utilizados deben proceder de fuentes renovables, en la medida en que sea económica y técnicamente factible.
- VIII. Evitar derivados químicos. La síntesis debe diseñarse con el uso mínimo de grupos protectores para evitar pasos extras y reducir los desechos.
- IX. Utilizar catalizadores. Debe emplearse catalizadores lo más selectivos y reutilizables posibles.
- X. Diseñar productos fácilmente degradables al final de su vida útil. Los productos químicos han de ser diseñados de tal manera que al culminar su función no persistan en el ambiente y puedan degradarse a derivados inertes o biodegradables.
- XI. Monitorear los procesos químicos en tiempo real para evitar la contaminación. Debe crearse sistemas de control y monitorización continuos para prevenir la producción de sustancias peligrosas durante los procesos.
- XII. Prevenir accidentes. Diseñar los procesos químicos, utilizando métodos y sustancias que reduzcan los accidentes (emisiones, explosiones, incendios, entre otros), y minimizar los daños cuando se produzca un accidente.

Los principios de la química verde fueron propuestos originalmente por Paul Anastas y John Warner en su libro *Green Chemistry, theory and practice* en 1998, y constituyen el pilar de la química verde. La aplicación de estas estrategias en la implementación de

procesos innovadores, contribuirán a la sostenibilidad del Planeta en la sociedad, la economía y el ambiente (S., Surwade P.S, et al, 2010)

La Química ambiental es la aplicación de la química al estudio de los problemas y la conservación del ambiente. Estudia los procesos químicos que tienen lugar en el medio ambiente global, o en alguna de sus partes: el suelo, los ríos y lagos, los océanos, la atmósfera, así como el impacto de las actividades humanas sobre nuestro entorno y la problemática que eso ocasiona.

Los procesos químicos industriales necesitan compuestos y materiales que intervienen en la vida cotidiana y que repercuten en el entorno. Durante décadas, estos aspectos no se tuvieron en cuenta, pero en la actualidad todos los procesos deben ser diseñados con metodologías que prevengan la contaminación y sean seguras para los seres humanos y para el ambiente. Recientemente, se ha demostrado que la química ambiental puede utilizar materiales compatibles con el entorno, desarrollando procesos innovadores que reduzcan y/o eliminen la generación de sustancias peligrosas, residuos y tóxicos persistentes provenientes de diversas actividades industriales

2.6. MONITOREO DE INTERFAZ EN TIEMPO REAL

Establecer condiciones óptimas tales como flujo, temperatura, presión y velocidad de agitación o circulación, deben ser cuidadosamente monitoreadas y controladas en los procesos químicos es de gran importancia. La mayoría de los fabricantes industriales de reactores usan recipientes, sensores, controladores y un sistema de control interconectados para su funcionamiento en el sistema de estos (S., Surwade P.S., Agnihotra, 2010).

Algunos de los experimentos suelen ser afectados por interferencias, esto por el uso de dispositivos de tiempos remoto, el uso de sistemas de monitoreo en tiempo real permite de inmediato percatarse del desempeño de las condiciones de operación de un dispositivo sin incurrir en interferencias así entre las ventajas tenemos:

- ❖ Prevenir la producción de sustancias peligrosas
- ❖ Disminuir costos, durante las operaciones
- ❖ Información sobre cualquier medida de rendimiento de un dispositivo.
- ❖ Tráfico de datos en tiempo real de la utilización de corriente, voltaje en la celda electroquímica.

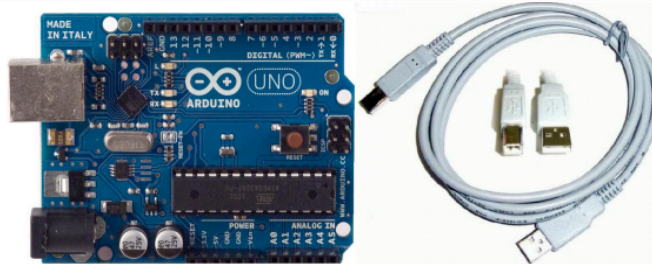
Los gráficos de rendimiento en tiempo real pueden también ser configurados como apps para que los administradores vean simulaciones, en caso de variación de parámetros.

2.7. PLATAFORMAS DE PROGRAMACIÓN ARDUINO

Arduino es una herramienta para hacer que los ordenadores puedan sentir y controlar el mundo físico a través de tu ordenador personal. Es una plataforma de desarrollo de computación física (physical computing) de código abierto, basada en una placa con un sencillo microcontrolador y un entorno de desarrollo para crear software (programas) para la placa. Puedes usar Arduino para crear objetos interactivos, leyendo datos de una gran variedad de interruptores y sensores y controlar multitud de tipos de luces, motores y otros actuadores físicos. Los proyectos con Arduino pueden ser autónomos o comunicarse con un programa (software) que se ejecute en tu ordenador. La placa puedes montarla tú mismo o comprarla ya lista para usar, y el software de desarrollo es abierto y lo puedes descargar gratis desde la página www.arduino.cc/en/.

El Arduino puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente.

Figura 2.2: Hardware Arduino Uno ® y cable USB



Elaborado: Martínez Peña J.L.

Tabla 2.3 Especificaciones técnicas placa Arduino Uno ®

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current for I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

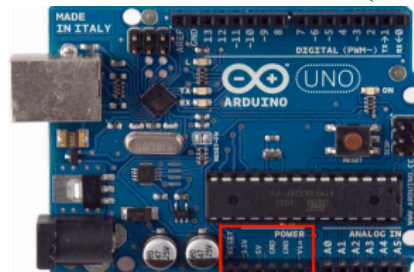
Fuente: www.arduino.cc/en

Si bien la alimentación de energía eléctrica de Arduino Uno ®, es mediante la conexión USB o mediante una fuente externa (recomendada de 7-12V), la placa Arduino cuenta con entradas y salidas eléctricas (Digitales y analógicas) , estas para alimentar de energía sensores, A continuación enumeraremos algunas de la partes mas importantes den la tarjeta arduino

Los pines de alimentación son tensiones continúa debido a unos reguladores de tensión y condensadores de estabilización para sensores. Estos pines se encuentran en la parte inferior del sistema como se observa en la figura 2.3 y son:

- ❖ VIN: se trata de la fuente tensión de entrada que contendrá la tensión a la que estamos alimentando al Arduino mediante la fuente externa.
- ❖ 5V: fuente de tensión regulada de 5V, esta tensión puede venir ya sea de pin VIN a través de un regulador interno, o se suministra a través de USB o de otra fuente de 5V regulada.
- ❖ 3.3V: fuente de 3.3 voltios generados por el regulador interno con un consumo máximo de corriente de 50mA.
- GND: pines de tierra.

Figura 2.3 Pines de alimentación (Power Pins)



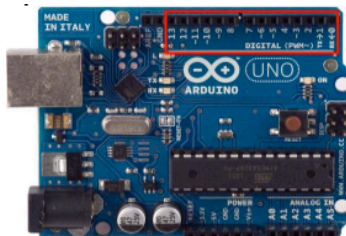
Elaborado: Martínez Peña J.L.

De igual manera a las entradas analógicas tenemos entradas digitales de alimentación (Ver figura 2.4.), cada uno de los 14 pines digitales se puede utilizar como una entrada o salida. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia de pull-up (desconectado por defecto) de 20 a 50 kOhm. Además, algunos pines tienen funciones especializadas como:

- ❖ Pin 0 (RX) y 1 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y la transmisión (TX) de datos serie TTL.

- ❖ Pin 2 y 3. Interrupciones externas. Se trata de pines encargados de interrumpir el programa secuencial establecido por el usuario.
- ❖ Pin 3, 5, 6, 9, 10 y 11. PWM (modulación por ancho de pulso). Constituyen 8 bits de salida PWM con la función analogWrite ().
- ❖ Pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Estos pines son de apoyo a la comunicación SPI.
- ❖ Pin 13. LED. Hay un LED conectado al pin digital 13. Cuando el pin es de alto valor, el LED está encendido, cuando el valor está bajo, es apagado

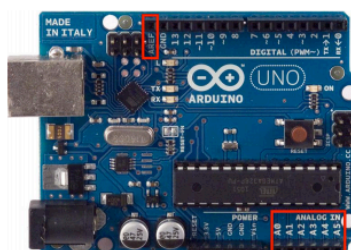
Figura 2.4: Entradas y salidas digitales



Elaborado: Martínez Peña J.L.

También Arduino Uno ® posee 6 entradas analógicas como se observa en la figura 2.5., etiquetadas desde la A0 a A5, cada una de las cuales ofrecen 10 bits de resolución (es decir, 1024 estados). Por defecto, tenemos una tensión de 5V, pero podemos cambiar este rango utilizando el pin de AREF y utilizando la función analogReference(), donde le introducimos una señal externa de continua que la utilizara como referencia.

Figura 2.5 Entrada y Salidas analógicas



Elaborado: Martínez Peña J.L.

2.8. ESTRUCTURA BÁSICA DE PROGRAMACIÓN EN ARDUINO JAVA

Los programas se implementan haciendo uso de un entorno de programación, del cual va a depender la sintaxis en un pseudocódigo.

Específicamente a un programa en Arduino, se le conoce como “*sketch*” y se divide en tres partes fundamentales:

- ❖ Estructura
- ❖ Valores (variables y constantes)
- ❖ Funciones.

La estructura básica de programación de Arduino es bastante simple, ya que la ejecución se divide en dos partes:

I.- “*setup()*”

II.- “*loop()*”

La función.”*setup()*” constituye la preparación del programa y “*loop()*” es la ejecución del programa.

La parte de programa que se encuentra dentro de la función “*setup()*”, es lo primero que se ejecuta y solamente se realiza una vez. En esta sección se pueden definir constantes y variables, también se puede configurar los pines como entradas/salidas o especificar el tipo según sea analógico/digital. Las instrucciones dentro de la función “*loop()*” se ejecutarán continuamente o hasta que ocurra un “*reset*”.

Ejemplo de “*sketch*” (Programa en Placa Arduino)

```
void setup() { // Se ejecuta solo una vez.
    pinMode(pin, OUTPUT); // Establece 'pin' como salida.
}
void loop() { // Se ejecuta continuamente
    digitalWrite(pin, HIGH); // Activa 'pin'
    delay(1000); // Pausa un segundo
    digitalWrite(pin, LOW); // Desactiva 'pin'
    delay(1000);}
}
```

La Sintaxis

Como se observa en el ejemplo anterior, al concluir cada declaración, se finaliza con “;”. Para realizar algún comentario dentro del programa y en una línea se antepondrá “//” al comentario, si se desea realizar un bloque de comentarios es decir en varias líneas, se utiliza la siguiente sintaxis “/*... */”. Mientras tanto los símbolos “{” y “}”, indican inicio y fin respectivamente de una función.

Variables

Una variable es una forma de asignar o almacenar un valor para un uso posterior por el programa, estos datos pueden venir de un sensor o alguna constante, los cuales permiten realizar un cálculo o realizar una acción determinada.

Declaración de Variables

Declarar una variable, significa asignar un nombre, definir el tipo de dato y opcionalmente asignar un valor. Las variables no necesariamente tienen que ser inicializadas con un valor cuando son declaradas, pero frecuentemente es útil para asegurar el valor asignado.

Sintaxis:

```
int   variableEntrada1; // Se define variable de tipo entero.  
int   variableEntrada2 = 0; // Ambas son correctas.
```

Tipos de variables

Para asignar el tipo de variable, se debe conocer el tipo de valor que se va a representar dentro del entorno de programación, para así especificar su tipo correcto. Los tipos de variable y características utilizadas en Arduino UNO se listan a continuación.

char: Variable del tipo caracter, el caracter va entre comillas y utiliza la equivalencia con el código ASCII, por lo que al definir una variable como 65 del tipo char, será equivalente a asignar la letra A

Sintaxis:

```
char v = 65; // Asigna a v la letra A.  
char v = 'A';
```

byte: Tipo de variable que almacena números de 0 – 255 en 8 bits. El valor se expresa en binario y el bit menos significativo es el que encuentra más a la derecha.

Sintaxis:

```
byte b = B1001; // asigna a b el número 9.
```

int: Variable de tipo entero. Principal tipo de dato para almacenar números enteros, guardan valores de 2 bytes. Por lo que produce un rango entre -32,768 y 32,767.

Sintaxis:

```
int ledpin = 13; // 13 es asignado a la variable ledpin
```

float: Tipo de variable para los números en punto flotante (números decimales), ocupa 4 bytes, por lo que las variables tipo “float” tienen el valor máximo 3.4028235E+38, y como mínimo pueden alcanzar el -3.4028235E+38 con una precisión de 6 dígitos decimales.

Variable local, Variable Global

El sitio en el que la variable es declarada determina el ámbito de la misma. Una variable global es aquella que puede ser empleada en cualquier función del programa. Estas variables deben ser declaradas al inicio del programa (antes de la función “setup()”). Una variable local es solamente visible en la función donde es declarada, por ejemplo dentro de un ciclo for.

Sintaxis:

```
int v; // 'v' es visible en todo el programa  
void setup() {  
}  
void loop() {  
for (int i=0; i<20;) // 'i' es visible solo en el bucle  
i++;  
float f; // 'f' es visible únicamente en la función loop()  
}
```

Operadores aritméticos

Se utilizan empleando variables, valores constantes o elementos de un arreglo.

Tabla 2.4 Operadores Aritmético

OPERADOR	ACCIÓN REALIZADA
=	Operador de asignación.
+	Operador de suma.
-	Operador de resta.
*	Operador de multiplicación.
/	Operador de división.

Funciones

Una función en Arduino realiza una tarea en específico y puede retornar un valor, cuando una función es invocada, pasa el control a esa función y una vez que concluyó su tarea el control vuelve a la línea donde fue llamada.

*Función: **pinMode(pin, mode)***

Función que configura el pin para comportarse como entrada (INPUT) o salida (OUTPUT) digital. Esta función por lo general se declara dentro de la función “setup()” y puede tener asignado o no una variable.

*Función: **digitalRead(pin)***

Esta función lee el valor de un pin digital y devuelve un valor “HIGH” o “LOW”, donde el pin puede ser especificado con una variable o una constante.

*Función: **digitalWrite(pin, value)***

Introduce un “1” lógico (HIGH) o “0” lógico (LOW) en el pin digital especificado. De nuevo, el pin puede ser asignado con una variable o una constante.

*Función: **analogRead(pin)***

Lee el valor analógico de un pin con una resolución de 10 bits predeterminedada. Esta función solo funciona en los pines analógicos (A0 – A11). El valor resultante es un entero de 0 a 1023. Los pines analógicos, a diferencia de los digitales NO necesitan declararse previamente como entrada o salida.

*Función: **analogWrite(pin, valor)***

Escribe un valor de 0 – 255 (resolución de 8 bits) en el pin especificado. Se pueden utilizar los pines del 0 – 53 como salidas. Al utilizar esta función no es necesario utilizar la función pinMode para establecer al pin como salida.

*Función: **delay(valor en ms)**.*

Realiza una pausa en el programa según el tiempo especificado. La función “delay” tiene las desventajas de que mientras se está ejecutando no se pueden leer entradas, realizar cálculos matemáticos o modificar los pines. Sin embargo continúan funcionando las interrupciones, los valores PWM (analogWrite) y los estados lógicos de los pines se mantienen.

Estructuras de control

Condicional: *if*

Se utiliza regularmente con operadores de comparación o booleanos para realizar cierta acción si las condiciones se cumplen.

Sintaxis:

```
If (x > 50); { // ¿ x mayor que 50?  
digitalWrite(pin1, HIGH); // Realiza las acciones.  
}
```

Para este ciclo, si se cumplen las condiciones booleanas entre paréntesis, enseguida se ejecutan las acciones que se encuentran entre las llaves, de lo contrario salta el programa a ejecutar la siguiente instrucción.

Condicional: *if... else*

A diferencia del ciclo if, éste permite mayor control sobre una estructura. En el ciclo “if-else”, se puede tener un mayor control sobre el flujo del código del programa, por lo que permite agrupar diferentes condiciones.

Sintaxis:

```
if ( x < 500 ); { // x menor que 500  
// Realiza Acción A  
}  
else // De lo contrario  
{  
// Realiza Acción B  
}
```

Cada condición se procederá a la siguiente hasta que se encuentra una verdadera. Cuando se encuentra una condición verdadera, su bloque correspondiente del código se ejecuta y el programa se salta a la línea siguiente. Si no existe ninguna prueba ser cierta, el bloque “else” se ejecuta por defecto.

Ciclo: *for*

Este ciclo se utiliza para repetir un bloque de instrucciones entre llaves, un contador de incremento se utiliza para tener el control de cuantas veces se ha ejecutado el ciclo, así como su conclusión.

Sintaxis:

```
for (inicio; condición; incremento) {  
  // Realiza Acción A  
}
```

El término de inicio solo se prueba una vez. Cada vez que se va a repetir el bloque, se prueba la condición, si es verdadera se ejecutan las instrucciones dentro de la función y se incrementa un contador. El ciclo se ejecutará hasta que la condición se convierta en falsa, por lo que el ciclo terminará

Ejemplo:

```
for (int i=0; i <= 255; i++) { // Prueba i = 0  
  analogWrite(PWMPin, i); // Escribe valor de i en PWMPin  
  delay(10);  
}
```

Sentencia: *switch / case*

Esta sentencia la podemos especificar como un comparador múltiple, además nos permite controlar el flujo de código de programa. En particular, compara el valor de una variable a los valores especificados en las sentencias “case”, cuando se encuentra una sentencia cuyo valor coincide con el de la variable, se ejecuta el código en esa sentencia, lo que permite establecer en cada caso un bloque de instrucciones activo.

Ciclo: *while*

El lazo se repite de forma continua e indefinidamente, hasta que la expresión dentro de los paréntesis () se convierte en falsa, de lo contrario el ciclo while nunca terminará.

Sintaxis:

```
while(expresion) { // Código ejecutado mientras “expresion”  
  // es verdadera.  
}
```

Puerto serie

Los puertos de entrada/salida permiten la comunicación con elementos externos a la tarjeta. Arduino DUE posee la interfaz para realizar la comunicación de datos digitales (puerto serial), con lo que es posible intercambiar datos con la computadora a partir de las siguientes funciones:

Serial.begin(rate)

Esta función permite abrir un puerto serie y especificar la velocidad de transmisión. La velocidad típica para comunicación con el ordenador es de 9600 baudios, aunque se pueden soportar otras velocidades.

Serial.print(data)

Este comando imprime los datos al puerto serie como texto ASCII, y tiene varias formas. Los números son impresos mediante un juego de caracteres ASCII para cada dígito. Los valores de tipo "float" son impresos en forma de dígitos ASCII con dos decimales por defecto. Los valores tipo "byte" se envían como un único carácter. Los caracteres y las cadenas se envían tal cual. Por ejemplo:

Serial.print(78) imprime "78"

Serial.print(1.23456) imprime "1.23"

Serial.print(byte(78)) imprime "N" (cuyo código ASCII es 78)

Serial.print('N') imprime "N"

Serial.print("Hello world.") imprime "Hello world."

Serial.println(data)

La instrucción imprime datos al puerto serie, seguido por un retorno de línea automático. Este comando tiene la misma forma que "***Serial.print()***" pero este último sin el salto de línea al final. Este comando puede emplearse para realizar la depuración de programas. Para ello puede mandarse mensajes de depuración y valores de variables por el puerto serie. Posteriormente, desde el entorno de programación de Arduino, activando el "***Serial Monitor***" se puede observar el contenido del puerto serie, y por lo tanto, los mensajes de depuración. Para observar correctamente el contenido del puerto serie se debe tener en cuenta que el "***Serial Monitor***" y el puerto serie han de estar configurados a la misma velocidad

Librerías en Arduino

Las librerías en Arduino son archivos escritos en C o C++, que permiten ampliar la funcionalidad de los programas. Para hacer uso de una librería en un "sketch" (el IDE de Arduino), basta con hacer "clic" sobre "Programa - Import Library" en el menú, escoger la librería correspondiente y se agregará a nuestro programa.

Como las librerías se cargan en el Arduino junto con el programa, se consume más espacio de memoria, si un programa ya no necesita una biblioteca, sólo se tiene que borrar el "#include" de las declaraciones de la parte superior del código. Esto hará que el IDE de

Arduino no enlace la librería con el programa y disminuya la cantidad de espacio utilizado en la placa del Arduino.

Conexión Ethernet

Conexión a Internet mediante “Arduino Ethernet Shield”, el cual puede funcionar como servidor que acepta peticiones remotas o como cliente. Éste permite hasta cuatro conexiones simultáneas

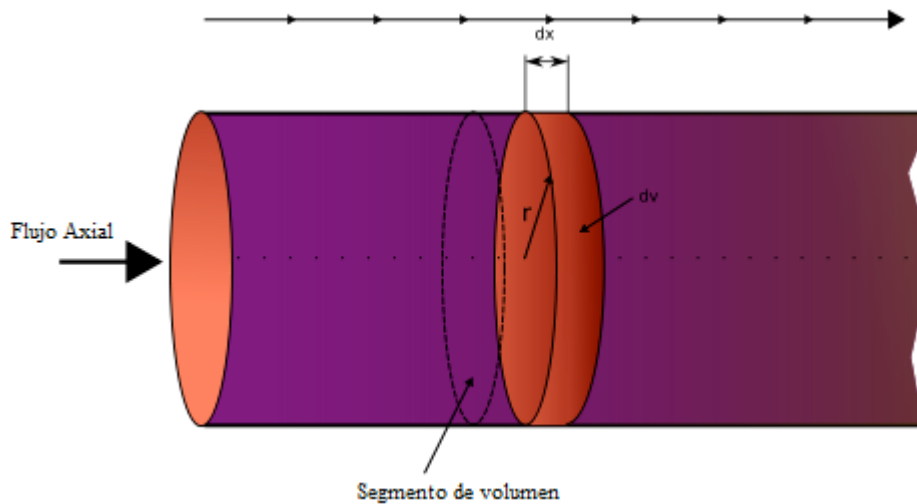
CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO DEL REACTOR ELECTROQUÍMICO SEMI-BACH

El diseño de reactores de flujo con recirculación (Reactor Semi- Bach), es una tarea de ingeniería compleja. Este tipo de reactores favorecen la mezcla. A mayor recirculación más favorecida se ve la transferencia de masa además entre otras cosas el reactor de flujo pistón trabaja en estado estacionario, es decir, las propiedades en un punto determinado del reactor son constantes con el tiempo.

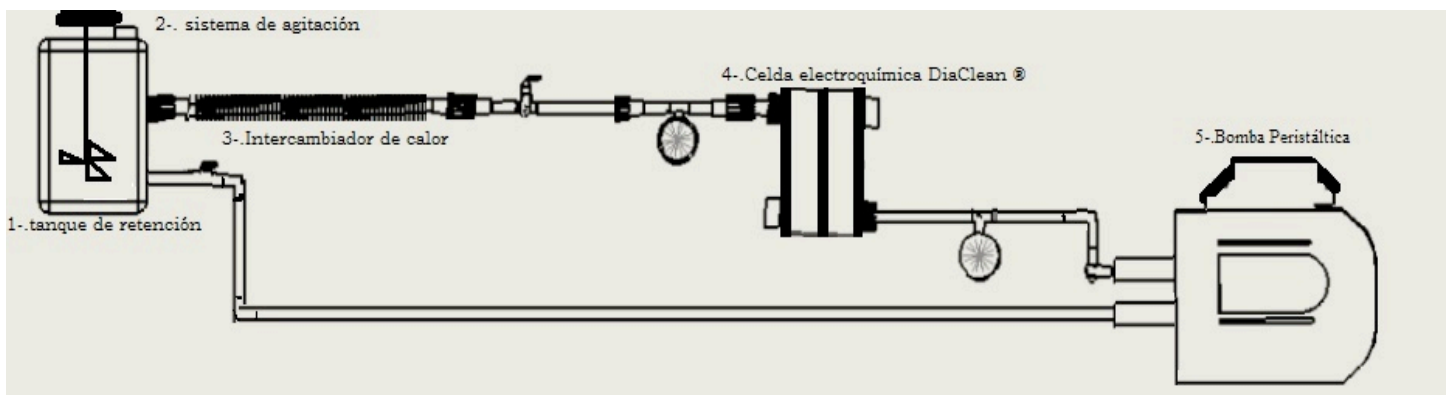
Figura 3.1: Perfil de Flujo tipo pistón



Fuente: Wikipedia, enciclopedia libre, 2013

Para el desarrollo del dispositivo electroquímico, fue necesario acoplar la celda DiaClean® a un sistema de tuberías, intercambiador de calor, tanque de recirculación, sistema de agitación y bomba peristáltica de recirculación como demuestra en la figura 3.2.

Figura 3.2: Sistema de recirculación DiaClean®



Elaborado: Martínez Peña J.L.

Para ver más detalles del plano ver anexo 1 “Planos de Reactor electroquímico Semi-Bach”. El sistema opera de una forma continua y en recirculación el material. A continuación, en listaremos una tabla con los costos del sistema de recirculación acoplado a la celda DiaClean® con electrodos de BDD, de igual manera para ver más detalles de los costos de tubería y accesorios, se incluye mayor información en el anexo 3 “Costos de tuberías y accesorios”

Tabla 3.1 Costos del sistema de recirculación acoplado a la celda DiaClean®

Descripción	Costos \$ [Dólar Americano]
Celda electro química DiaClean® con electrodos de BDD	4990
Transporte México	500
Impuestos + IVA	878.4
Implementos (Tubería y accesorios)	500
Bomba peristáltica Masterflex B/T	6000
Total	12868

3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL DE LA TANQUE, TUBERÍA Y ACCESORIOS

En la búsqueda de un sistema para la conducción de agua capaz de soportar altas temperaturas, altas presiones, y superar los problemas de unión de las tuberías convencionales, se optó por utilizar el Polipropileno Co-polímero Random (PP-R), de la marca TUBO PLUS ® de ROTOPLAS®.

TUBO PLUS ® cuenta con gran resistencia a los impactos, está diseñado especialmente para transportar agua caliente o fría en forma eficiente. Gracias a su unión por Termo fusión, este sistema hidráulico soporta altas presiones y no corre el riesgo de fugas en las uniones, con protección antibacteriana y filtro UV para exteriores, ofreciendo un sistema que responde a altos estándares de calidad.

El avanzado Sistema de conexión utilizado en el tanque, tubería y accesorios del dispositivo fue la Termo-fusión la cual garantiza Cero fugas, ya que fusiona molecularmente el tubo y la conexión, formando una sola pieza indisoluble sin necesidad de aporte de material, roscas o pegamentos especiales. El proceso de Termo-fusión es rápido, limpio y seguro, permitiendo ahorros importantes en tiempo y costo de instalación. Usando una herramienta

eléctrica llamada Termo fusor, el tubo y la conexión se calientan con dados teflonados a 260 °C y posteriormente se unen en pocos segundos

Válvulas de bola

Válvula de bola manual. Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera o bola perforada, de tal forma que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula. Permite o bloquea el paso del flujo durante el proceso.

Figura 3.3 Válvula de Bola



Fuente: Manual de especificaciones TUBO PLUS ®

Tanque

Equipo en cuyo interior se almacena el agua sintética para su posterior recirculación, estando éste diseñado para maximizar la conversión y selectividad de la misma con el menor coste posible este cuenta con una propela de agitación, la cual es maniobrada por el motor el cual fue recuperado de taladro domestico

Figura 3.4: Tanque de recirculación



Elaborado: Martinez Peña J. L.

Fuente de Poder

Laboratory DC Power Supply GPS-3030D. Fuente de alimentación lineal de 90 W con medidor de pantalla digital con diferentes salidas de potencia. Cuenta con protección contra sobrecarga y polaridad inversa, así como alta regulación y baja ondulación. La selección de carga interna continua o dinámica acomoda aplicaciones como la corriente pulsada. Los terminales de control remoto ofrecen programación y operación desde un dispositivo externo.

Figura 3.5 Fuente de poder GPS-3030D

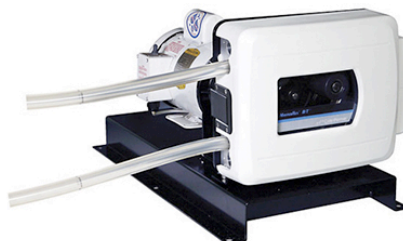


Fuente: Manual Laboratory DC Power Supply GPS-3030D

3.1.2 DESCRIPCIÓN BOMBA PERISTÁLTICA DE RECIRCULACIÓN

El flujo es controlado a través de la bomba peristáltica MasterFlex® B/T Cole Palmer modelo 77111-60, la cual consta de un cuerpo de aluminio fundido y recubrimiento en polvo epóxico para eliminar la corrosión. Posee un reductor de piñones robustos que permite una operación continua. Además, cuenta con un sistema de cierre simple permite una fácil apertura y cierre sin utilizar herramientas. Todo esto hace que esta bomba sea la adecuada para llevar a cabo el proceso, al utilizar la manguera modelo BT91 tiene una capacidad de 1.4 A 42 LPH o lo que es lo mismo 48 LPM como mínimo y 2520 LPM como máximo. Este flujo se controla por medio de una perilla de potencia graduada en 10 niveles de potencia, el uso de niveles de potencia es debido a que el la velocidad e flujo es una variable dependiente de la viscosidad de la sustancia con la cual se haga trabajar la bomba.

Figura 3.6 Bomba MasterFlex® B/T Cole Palmer



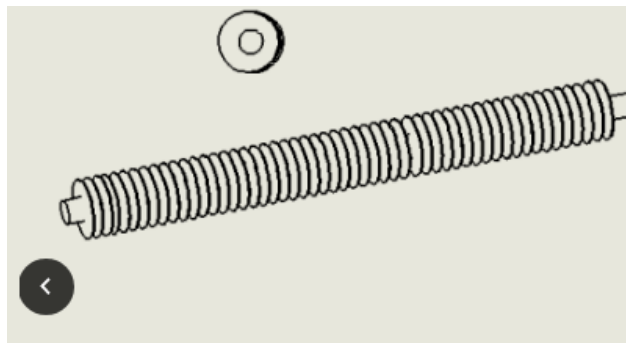
3.1.3 DESCRIPCIÓN CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL SISTEMA

El sistema emplea un intercambiador de calor compacto de aletas anulares de espesor uniforme ver figura 3.7. Ayuda a mantener un rango de temperatura durante el proceso de electrólisis, actuando como enfriador.

El intercambiador aletado está elaborado de acero inoxidable 304 y consta de 50 cm de largo y 50 aletas del mismo material colocadas a lo largo con una separación de 0.5 cm entre ellas, este tipo de intercambiadores gracias a sus aletas permite contar con una mayor superficie de contacto de enfriamiento.

Los intercambiadores de calor compactos son comúnmente usados en los procesos industriales de ventilación-calentamiento, refrigeración y también de aire acondicionado, debido a su economía, construcción y operación.

Figura 3.7 Intercambiador de calor de tubos aletados

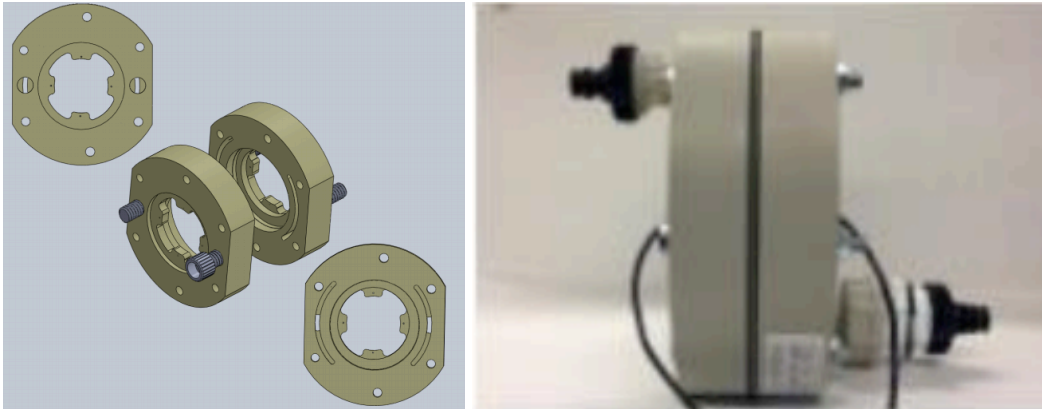


Elaboró Martínez Peña J. L.

3.1.4 CELDA ELECTROQUÍMICA DIACLEAN ®

La celda electroquímica denominada DiaClean®-100 es un producto de la compañía suiza WATER DIAM COMPANY ®, está equipado por dos tipos de electrodos: Acero Inoxidable como contra electrodo (cátodo) y como electrodo de trabajo el electrodo de diamante dopado con boro (DDB, ánodo) ambos de forma circular, enfrentados en posición paralela con un área anódica de 70 cm^2 y separados 0.2cm. (Figura 3.8)

Figura 3.8 Celda electroquímica DiaClean®



Elaboró; Martínez Peña J. L.

El principal interés en el empleo de electrodos de diamante dopados con boro (BDD) es debido a la gran posibilidad de generar gran cantidad de radical hidroxilo ($\text{OH}\cdot$), para la degradación de contaminantes orgánico. El diseño de la celda DiaClean® permite una modificación de la configuración 1 a 4 compartimentos, de el volumen del reactor pueda cambiarse mediante separadores de diferentes tamaños que son de alimentación interna y paralelos, además, la hidrodinámica del flujo modifica la velocidad de oxidación y la eficiencia del proceso (Eciso et al., 2013). Para ver más detalles de la celda ver anexo 2 “Planos Celda electroquímica DiaClean ®”.

3.2: DESARROLLO DEL SISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo utilizado para nuestro proceso está constituido por:

- Laptop.
- Tarjetas Arduino (3 unidades).
- Interfaces (3 unidades).
- Sensor de Corriente.
- Sensor de Flujo.
- Sensor Temperatura.

Tarjeta Arduino

Arduino Uno® es una placa electrónica basada en el ATmega328P (ver Figura 2.4). Cuenta con 14 pines digitales de entrada-salida, 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a

un ordenador con un cable USB o la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar.

Interfaz (cable USB)

Un cable USB Tipo B puede ser un mini USB o micro USB, sin embargo, la mayor parte de los cables USB Tipo B tiene un extremo Tipo A. USB Tipo B clásico: Un tipo de puerto USB utilizado con frecuencia en escáner o impresoras.

Sensor de Voltaje

SHT-166. El módulo funciona con el principio de divisor de tensión resistivo por lo que puede hacer el valor de entrada del voltaje hasta 5 veces más pequeño.

- Rango de entrada de voltaje: DC 0-25V.
- Rango de detección de voltaje: D CO.02445V - 25V.
- Resolución analógica Tensión: 0.00489 V

Figura 3.9 Sensor de Corriente y Voltaje SHT-166



Fuente www.arduino.com, consultado 20/04/2017

Sensor de Flujo

FS300a. Este sensor de flujo está construido de plástico sólido, de fácil instalación en un sistema de tuberías estándar (3/4"), mide el flujo del agua por medio de un rotor de agua interno que activa un sensor de efecto Hall, este envía pulsos por cada rotación. El sensor está aislado del agua y el rotor, de manera que siempre se mantiene seco y seguro.

El sensor tiene tres cables: rojo (vcc:5-18VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de pulsos del sensor de efecto Hall). Al contar los pulsos se puede medir fácilmente el volumen o caudal de salida del agua. No es un sensor de precisión por lo que la orientación, presión del agua y otras condiciones pueden afectar la medición.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DE ELECTROLITO POR VOLTAMPEROMETRÍA CÍCLICA.

El tratamiento electroquímico comenzó con la selección de dos soluciones amortiguadora factibles para el uso de un electrodo de DDP, teniendo como resultado lo siguiente, Para la solución de buffer amonio/amoniaco (ver figura 4.1) y buffer sales de acetatos (ver figura 4.2), podemos observar que en ambos casos se presenta la oxidación en valores de potencial dentro de la ventana de trabajo de oxidación para cada analito. Al regreso del ciclo hay una señal de reducción esta puede ser debida a la formación de quinonas dentro de la oxidación.

Figura 4.1. Voltamperograma del NP10EO en una disolución amortiguadora de pH 9.25 (NH₄OH 0.5 M/ HCl 0.5 M) WE = BDD, CE = Pt, barrido realizado en un rango de 2.4 V a -1.5V, T = 18 ± 2 °C

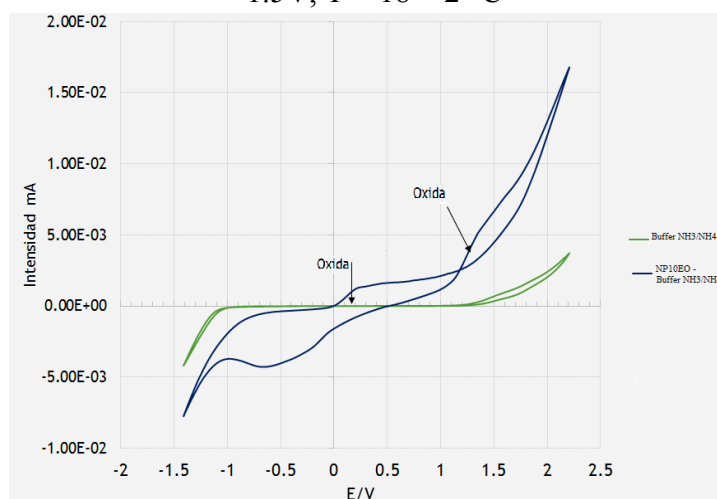
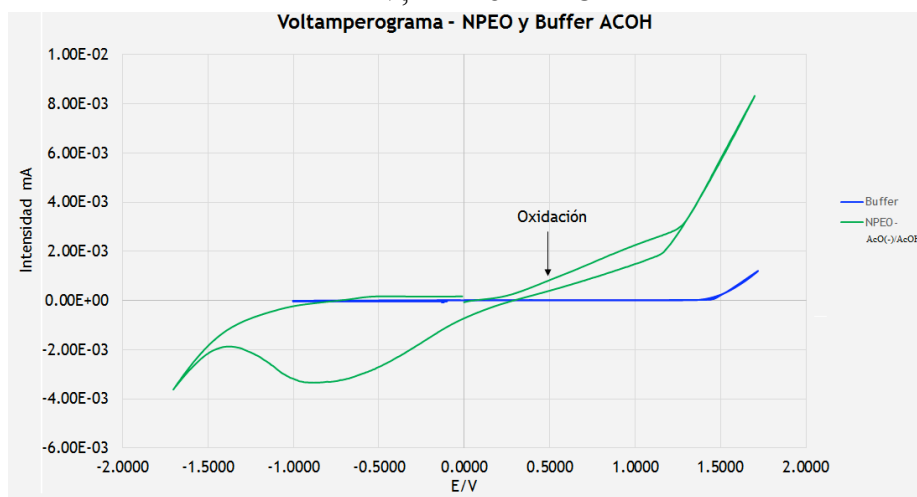


Figura 4.2. Voltamperograma del NP10EO en una disolución amortiguadora de pH 4.2 (AcOH 0.5 M/ AcO(-) 0.5 M) WE = BDD, CE = Pt, barrido realizado en un rango de 2 V a -2 V, T = 18 ± 2 °C



4.2 PROCESO DE DEGRADACIÓN EN SISTEMA ELECTROQUÍMICO

Posteriormente se comenzó con el proceso de oxidación avanzada en el dispositivo electroquímico acoplado a un sistema de monitoreo, el cual fue elaborado en el lenguaje de programación Java y auxiliado por la plataforma Arduino Uno®, monitoreando los parámetros de temperatura, flujo y voltaje.

El proceso de degradación comenzó colocando la solución acuosa de NP10EO en 100 ppm el tanque de alimentación (para fines de esta experimentación se ocupó un volumen de 4 L de agua sintética), La solución acuosa de nonilfenol etoxilato fue impulsada al reactor electroquímico tipo celda DiaClean®-100 con ayuda de una bomba peristáltica Masterflex B/T Cole-Parmer, Modelo 77111-60 pasando a través de una tubería marca TUBOPLUS® conectada mediante Termo-fusión., los electrodos se encuentran conectados a una fuente de poder GW Modelo GPS-3030D y es aquí donde se lleva a cabo la oxidación del NP10EO. El control de temperatura del sistema se realiza por medio de un intercambiador de calor de tubos aletados instalado a la salida del reactor, lo que permite mantener una temperatura constante en el sistema, ya que dentro del reactor electroquímico debido a la electro-oxidación y por razones de estabilidad mecánica existen gradientes de temperatura.

4.2.1 1 ESTUDIO DE LA ABSORBANCIA POR ESPECTROFOTOMETRÍA (UV-VIS)

Los barridos de longitud de onda en función de la absorbancia fueron realizados en un rango de trabajo de 200 a 400nm para los barridos de UV-VIS para la solución de sales de acetatos y de 200 a 380nm para la solución de sales de amonio, a lo largo del tratamiento, esto tomando muestras en intervalos de tiempo de una hora, con el fin de evaluar el efecto que tiene el tratamiento sobre la degradación del NP10EO, utilizando diferentes electrolitos. Se tiene como referencia que el nonilfenol etoxilato presenta su máxima absorción a una longitud de onda de 275nm, (Armijos K et al., 2015). Para el sistema de sales de amonio (ver figura 4.3) la lectura de la absorbancia fue tomando en cuenta como línea base una solución con pH 9.25 de agua destilada y buffer de amonio-amoniaco, con una concentración 0.5 M del sistema buffer. Entre más desaparece los picos y se cerquen a la señal base, existiría una mayor degradación del NP10EO.

Se estudiaron dos medios de degradación el buffer (NH₄OH 0.5 M / HCl 0.5 M y AcOH 0.5 M/ AcO (-) 0.5 M) ambos medios fueron ocupados a la misma densidad de corriente con el fin de tener gráficos comparativos de potencial eléctrico en la celda electrolítica.

Figura 4.3 Barrido mediante UV-Vis a diferentes tiempos durante la degradación del NP10EO; absorbancia a diferentes tiempos; CO NP10EO 50 ppm, $j = 40 \text{ mA cm}^{-2}$; pH 9,25 (NH₄OH 0,5M/ HCl 0,5M); $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

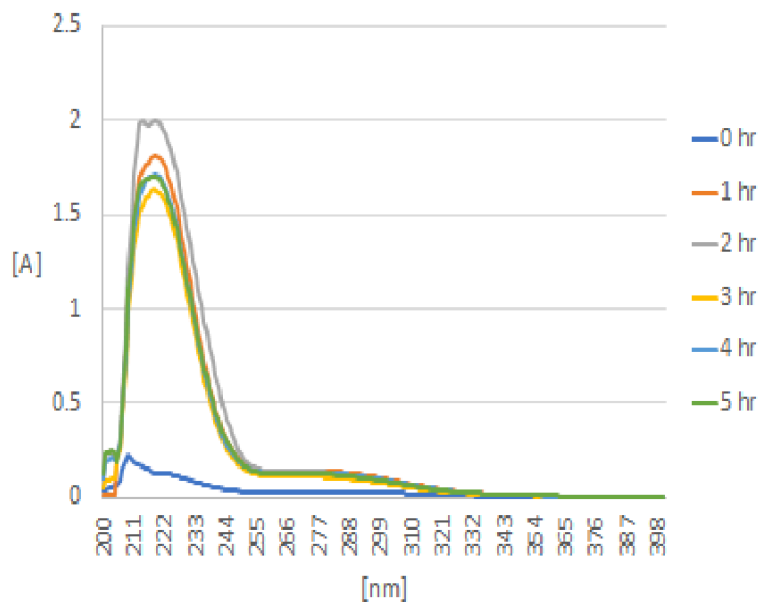
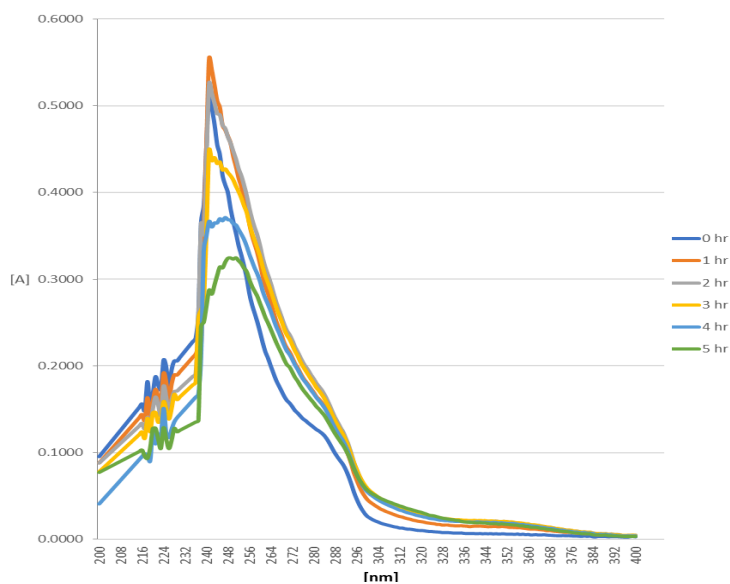


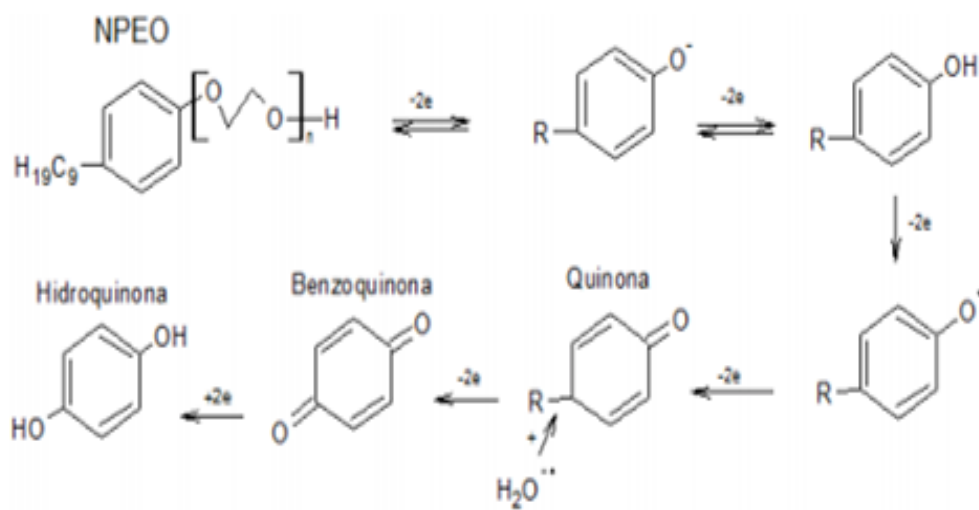
Figura 4.4 Barrido mediante UV-Vis a diferentes tiempos durante la degradación del NP10EO; absorbancia a diferentes tiempos; CO NP10EO 100 ppm, $j = 40 \text{ mA cm}^{-2}$; pH 4.2 (AcOH 0,5M/ AcO(-) 0.5M); $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$



Podemos observar que los comportamientos de la absorbancia para ambos buffers al iniciar el tratamiento tienen un comportamiento creciente y posteriormente un comportamiento decreciente, esto puede ser debido a la formación de compuesto con mayor absorbancia en la oxidación, es decir el compuesto orgánico persistente empieza a degradarse en otras especies (ver figura 4.5).

Las señales de mayor intensidad conllevan un efecto hipercrómico en la absorbancia, y en su contra parte también se presenta un efecto hipocrómico en las absorbancias al paso del tiempo. Destacan entre los compuestos la presencia de Quinonas, que se sabe absorben muy fuerte en el UV y visible.

Figura 4.5 Ruta de degradación del NPEO



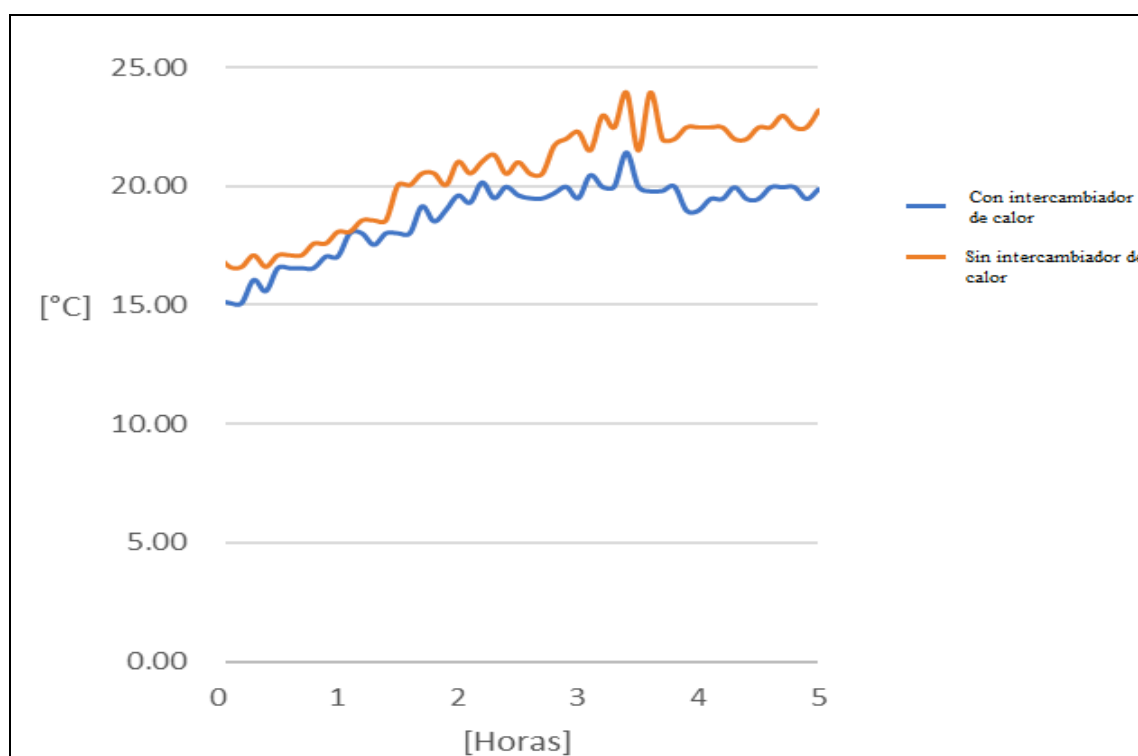
Fuente: Armijos K. et. al., 2015

4.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE TEMPERATURA EN EL REACTOR ELECTROQUÍMICO

El efecto de temperatura se determinó para el tratamiento a las condiciones óptimas del equipo, es decir trabajando con una densidad de corriente de 40mA/cm² y un flujo de 14 +/- 5 LPM. Cabe mencionar que el sistema funciono por un lapso de 5 hr, con intervalos de muestreo cada 5 minutos, por lo cual se obtuvieron 300 datos significativos.

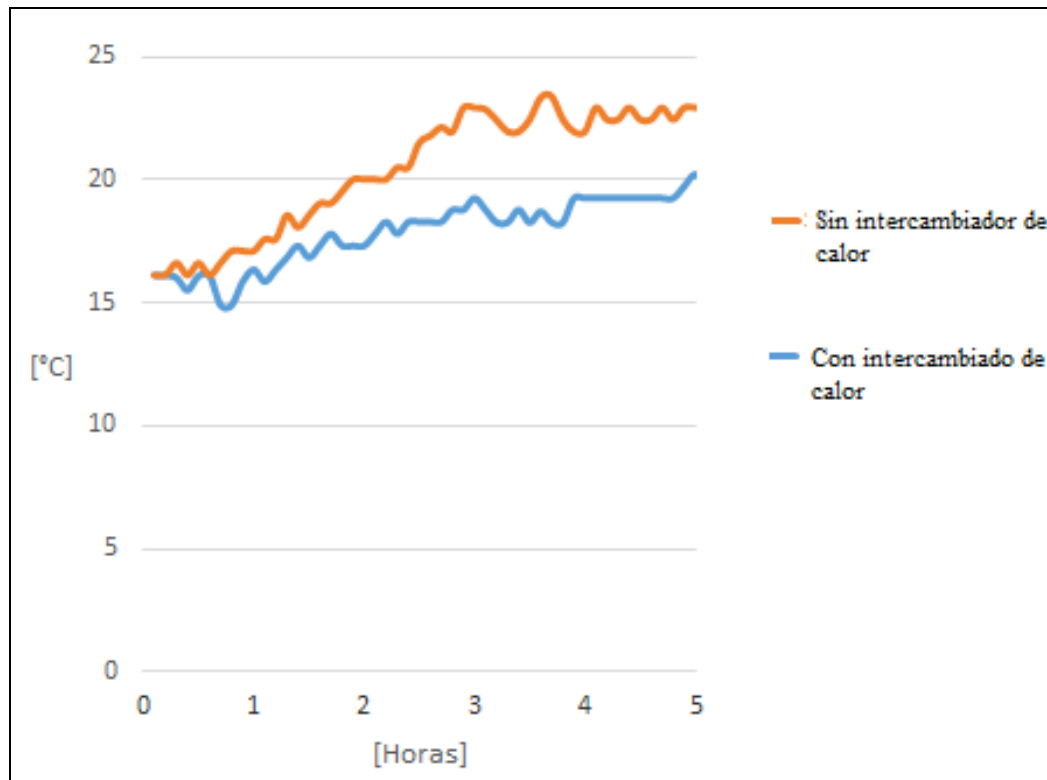
El experimento consistió realizar las pruebas con el uso y desuso del intercambiador de calor, esto con el fin que notar el efecto de transferencia de calor, así podemos observar que en la Figura 4.4 y Figura 4.5.

Figura 4.4 Gráfico del comportamiento de temperatura con y sin el uso de intercambiador de calor a diferentes tiempos durante la degradación del NP10EO; CO NP10EO 50 ppm, j = 40 mA cm⁻²; pH 4.2 (AcOH 0.5M/ AcO(-) 0.5M); T = 20 ± 2 °C



Este comportamiento confirma la hipótesis que se tiene en los estudios electro-analíticos, donde después de la oxidación se observó una línea de reducción. Ésta última puede ser debido a la presencia de las quinonas

Figura 4.5 Gráfico del comportamiento de temperatura con y sin el uso de intercambiador de calor a diferentes tiempos durante la degradación del NP10EO; CO NP10EO 50 ppm, $j = 40 \text{ mA cm}^{-2}$; pH 9.2 (NH₄OH 0.5 M/ HCl 0.1 M); $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$



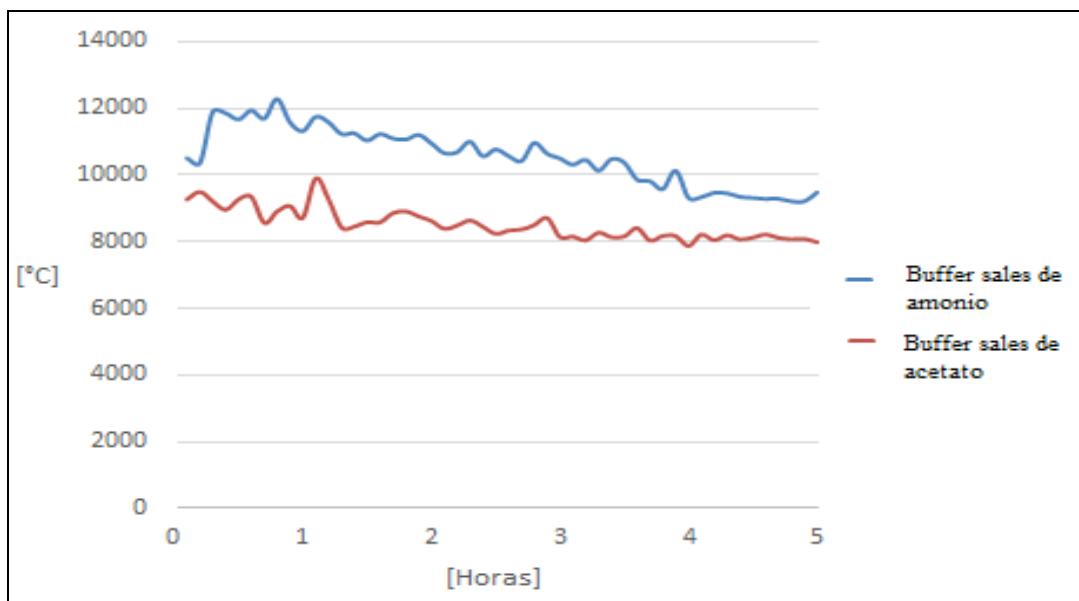
El comportamiento de temperatura con y sin el uso de intercambiador de calor a diferentes tiempos durante la degradación del NP10EO a una concentración inicial de 50 ppm, una densidad de corriente $j = 40 \text{ mA cm}^{-2}$ y pH 4.2 (para el AcOH 0.5M/ AcO(-) 0.5M); denota una variación de 5°C sin el uso de intercambiados y una disipación de 8°C con el uso de intercambiado por tanto podemos decir que en la solución de sales de acetato tenemos una disipación de temperatura de -3°C .

A su vez podemos observar en la Figura 4.5 el comportamiento de temperatura durante la degradación del NP10EO con el uso y desuso del intercambiador de calor, teniendo como concentración inicial la misma del experimento con sales de acetato NP10EO 50 ppm y usando la misma densidad de corriente ($j = 40 \text{ mA cm}^{-2}$) tenemos un pH 9.2 de NH₃ 0.5M/ HCL 0.5M, presenta la misma disipación de -3°C

4.2.3 DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE VOLTAJE EN EL REACTOR ELECTROQUÍMICO

Se evaluó el efecto del voltaje a lo largo del tratamiento electroquímico en el reactor Semi-Bach tipo celda DiaClean®, en intervalos de tiempo de cinco horas por cada cinco minutos, con la ayuda del sistema de monitoreo, así podemos observar en la Figura 4.6 el comportamiento de los dos diferentes electrolitos, los cuales se utilizaron en las mismas concentraciones (NH₄OH 0.5 M/HCl 0.5 M y AcOH 0.5M/HCl 0.5M)

Figura 4.6 Gráfico del comportamiento de el voltaje de los dos diferentes electrolitos (NH₄OH 0.5M/ HCl 0.5M); (AcOH 0.5M/HCl 0.5M) durante la degradación del NP10EO; CO NP10EO 50 ppm, $j = 40 \text{ mA cm}^{-2}$; $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$



En el Gráfico del comportamiento de el voltaje podemos ver que es sistema de sales de amonio es un sistema más resistivo, esto tomando en cuenta la ley de Ohm, de la cual si nosotros estamos imponiendo una intensidad de corriente constante, el voltaje pasaría a ser directamente proporcional a la resistencia del sistema, de igual manera el hecho de tener espuma en el sistema (NP10EO es un tensoactivo no iónico) también puede ocasionar un cambio en el potencial es decir que no se esté aprovechando totalmente el área anódica (superficie del electrodo), trayendo como consecuencia una menor eficiencia del tratamiento.

4.2.4 DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE FLUJO EN EL REACTOR ELECTROQUÍMICO

A continuación, se presentan el comportamiento del flujo de igual manera que los monitoreos anteriores el lapso de tiempo monitoreado es el mismo y a la frecuencia de toma de muestra, con ayuda el sistema de la herramienta visual.

Así durante la operación electroquímica a condiciones óptimas del equipo $j=40$ mA y flujo de 14 ± 1.5 LPM como se puede observar en la Figura 4.7 y 4.8.

Figura 4.7 Gráfico del comportamiento del flujo a diferentes tiempos durante la degradación del NP10EO; CO NP10EO 50 ppm, $j = 40$ mA cm^{-2} ; pH 4.2 (NH_4OH 0.1M/ HCl 0.1M); $T = 20 \pm 2$ °C

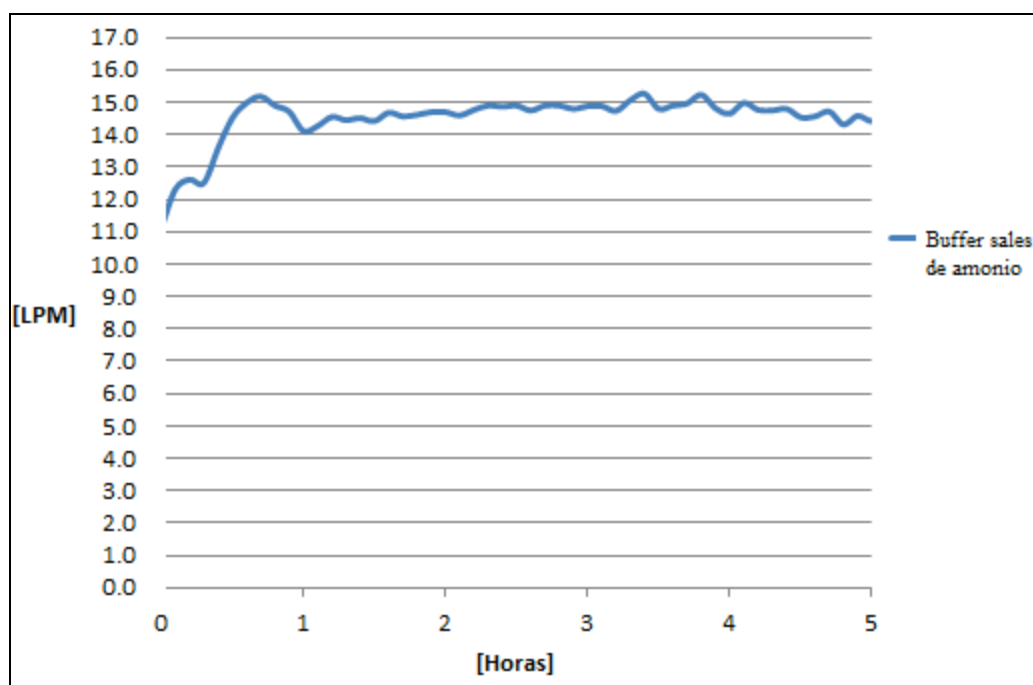
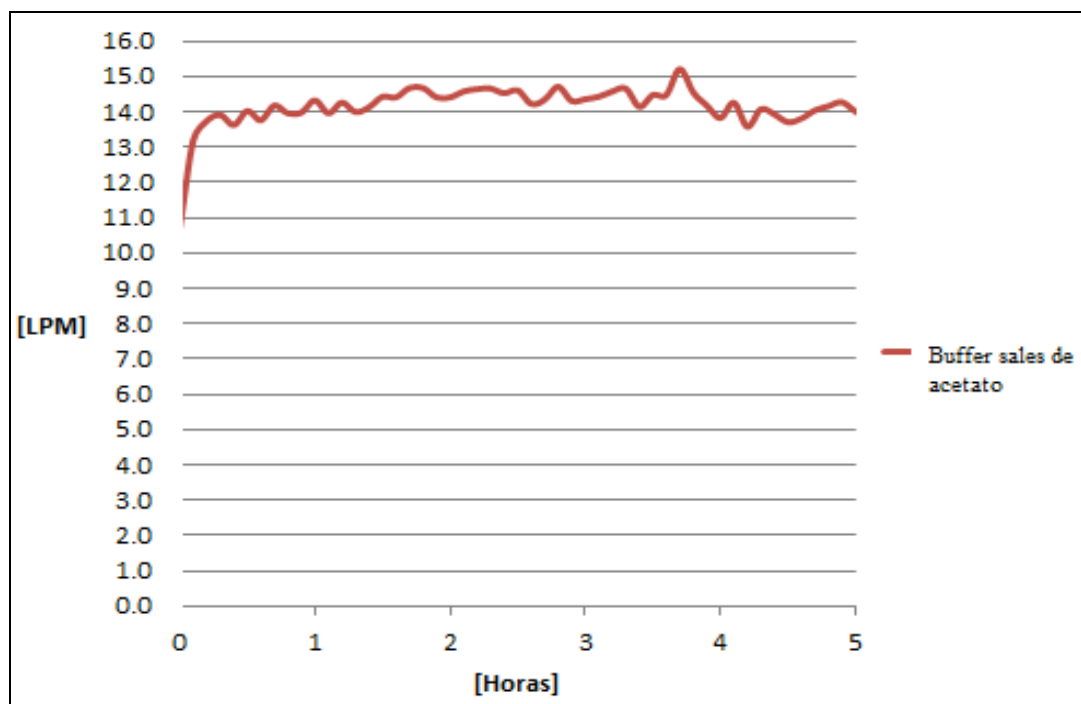


Figura 4.8 Gráfico del comportamiento del flujo diferentes tiempos durante la degradación del NP10EO; CO NP10EO 100 ppm, $j = 40 \text{ mA cm}^{-2}$; pH 4.2 (AcOH 0.5M/AcO(-) 0.5M); $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$



Como podemos observar al imponer el flujo en el sistema de recirculación este no tiende a mantenerse constante es decir se tienen interferencias, lo cual se atribuye al hecho que el contaminante utilizado es un tenso activo no iónico, que genera espuma, debido a esto existe aire o zonas muertas dentro del reactor, que entre otras cosas causa interferencia de +/- 1 LPM en el sensor de FS300a.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES

En el estudio de la oxidación electroquímica avanzada del NP10EO es factible en medio alcalino (NH_4OH 0.5M/ HCl 0.5M), y en medios básicos (AcOH 0.5M/ HCl 0.5M)

El uso del reactor electroquímico empleando celdas DiaClean ® con electrodos de diamante dopados con boro (DDB), es un tratamiento de oxidación avanzada, que puede proponerse como una alternativa para la desinfección de aguas con alto contenido de contaminantes orgánicos emergentes de origen industrial, ya que el DDB estos electrodos poseen características tecnológicamente importantes incluyendo, una superficie inerte con propiedades de adsorción bajas, una notable estabilidad a la corrosión en medios ácidos o básicos

La oxidación del Nonilfenol Etoxilato dentro del reactor electroquímico Semi-Bach ocurre de forma indirecta, mediante la producción de radicales hidroxilos.

El uso de tensoactivos causa interferencia en la lectura del sensor de flujo ya que la existencia de espuma causa puntos muertos sobre la superficie anódica de la celda DiaClean ®. Aunque parece no ser tan significativas +/- 1 LPM, a escala industrial mayor es importante considerar al momento de realizar las interpretaciones de monitoreo y eficiencia de degradación.

Un mayor tiempo de tratamiento o el acoplamiento de otro tratamiento, puede mejorar el porcentaje de remoción de un contaminante emergente e incluso llegar a su mineralización de este, es decir llegar a solo tener CO_2 y H_2O al final del tratamiento

En el sistema electroquímico existe un aumento de temperatura el cual se atribuye a efectos mecánicos y de cambios de potencial en la calda electroquímica. El uso y desuso de intercambiador de calor de tubos aletados en el sistema electroquímico disipa aproximadamente +/- 3°C.

En el estudio del efecto del voltaje para la degradación, con el uso de dos diferentes electrolitos a las mismas concentraciones, el sistema de sales de amoniaco es un sistema más resistivo que el sistema de sales de acetato, esto considerando que tenemos la intensidad de corriente constante, y por ley de Ohm el voltaje es directamente proporcional a la resistencia.

La existencia de espuma en la degradación de NP10EO causa interferencias en eficiencia del reactor, lo cual se atribuye al hecho que el contaminante utilizado es un tenso activo no iónico, que genera espuma, debido a esto existe aire o zonas muertas dentro del reactor, que entre otras cosas causa interferencia de +/- 1 LPM en el sensor de FS300a.

REFERENCIAS

- ❖ Aguilar, M., Sáez, J., Llorens, M., Soler, A., & Ortuño, J. (2002). Tratamiento físicoquímico de aguas residuales: coagulación-floculación. Universidad de Murcia.
- ❖ Arango Ruiz, A. (2005). La electrocuagulación: una alternativa para la remoción de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 49-50.
- ❖ Ayorinde, F., & Elhilo, E. (1999). Determination of the Instrumental Detection Limits of Commercial Nonylphenol Ethoxylates with a Wide Range of Molecular Masses Using Matrix-assisted Laser Desorption/ionization Time-of-flight Mass Spectrometry. *RAPID COMMUNICATIONS IN MASS SPECTROMETRY*, 13, 2166-2173.
- ❖ Barceló D. (2003). Emerging pollutants in water analysis. *Trends in Analytical Chemistry* 22: XIV-XVI.
- ❖ Bard, A. J., & Faulkner, L. R. (2001). *Electrochemical Methods Fundamentals and applications*. New York, EEUU.
- ❖ Barrera C, Martínez G, Gencel O, Bernal L. A., Brostow W. (2011). Processed wastewater sludge for improvement of mechanical properties of concretes. *Journal of Hazardous Materials.*, 192: 108–115.
- ❖ Bernal Martínez L.; Barrera Díaz C.; Roa Morales G.; Solís Morelos C.; Crúz Olivares J. (2014). *Métodos Electroquímicos Combinados*. En C. Barrera (Ed.), *Aplicaciones electroquímicas del tratamiento de aguas residuales* (p. 281), México: Reverte.
- ❖ Castro, X. (2010). Extracción del nonilfenol etoxilato y nonilfenol desde matrices acuosas utilizando un sistema de disco rotatorio con una fase mixta de nanotubos de carbono. Santiago-Chile
- ❖ Chen G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology.*, 38: 11-41.
- ❖ Chen G., Hung Y.T. (2007). Electrochemical wastewater treatment processes. *Advanced Physicochemical Treatment Technologies*. 5: 57-106.
- ❖ Coeuret F. (1992). *Introducción a la Ingeniería Electroquímica* (p 97). Barcelona: Reverte.

- ❖ Comninellis C., Duo I., Michau P. A., Marselli B., Park S. M. (2005). Application of sythetic boron-doped diamond electrodes in electrooxidation process. In A. Fujishima, Y. Einaga, T. N. Roa, D. A. Tryk (Eds.) *Diamond Electrochemistry*, Amsterdam: Elsevier.
- ❖ Comninellis C., Kapalka A., Foti G., (2010). Basic Principles of the Electrochemical Mineralization of Organic Pollutants for Wastewater Treatment. In Ch. Comninellis, G. Chen (Eds), *Electrochemistry for the Enviromental*. New York: Springer
- ❖ CONAGUA., *Estadísticas del Agua en México Capítulo 2. Situación de los recursos hídricos*. Edición 2015, 62, Disponible en: [Fecha de Consulta: 20 de febrero del 2016]
- ❖ Cox, C. (2003). Nonylphenol and related chemical . *Journal of pesticide reform/spring 1996*. (Vol. 16).
- ❖ Chrostowsky. (2002). Fact Sheet: Alkyhenoles etoxylates in Biosoids. Associates Takoma Park
- ❖ Da Silva, S. W., Bordignon, G. L., Viegas, C., Rodrigues, M. A. S., Arenzon, A., & Bernardes, A. M. (2015). Treatment of solutions containing REFERENCIAS 70 nonylphenol ethoxylate by photoelectrooxidation. *Chemosphere*, 119: S101- S108.
- ❖ Dougherty J.; Swarzenski P.; Dinicola R.; Reinhard M. (2010). Occurrence of herbicides and pharmaceutical and personal care products in surface water and groundwater around Liberty Bay, Puget Sound, Washington. *Journal Enviromental Quality.*, 39: 1173-80.
- ❖ Duan P.; Hu C.; Quan C.; Yu T.; Zhou W.; Yuan M.; Shi Y.; Yang K. (2016). 4-Nonylphenol induces apoptosis, autophagy and necrosis in Sertoli cells: Involvement of ROS-mediated AMPK/AKT-mTOR and JNK pathways. *Toxicology*. 341–343: 28–40.
- ❖ Eciso, R., Espinoza, P., Frontana, B., Delgadillo, J., & Rodriguez-Torres, I. (2013). *Theoretical Analysis of the Velocity Profiles in a Diacell Cell Applying Computational Fluid Dynamics*. The Electrochemical Society

- ❖ Espinoza P., Vasquez R., Ibañez J., Frontana B. (2013). Efficient anodic degradation of phenol paired to improved cathodic production of H₂O₂ at BDD electrodes. *Journal of Electrochemical Society*, 160: G3171-G3277.
- ❖ Frontana B., Vásquez R. (2014). Celdas de Laboratorio y reactores electroquímicos. En C. Barrera (Ed). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales* (p. 104). México: Reverte
- ❖ Fujita M., Ike M., Mori K., Haku H., Sakaguuchi Y., Asano M., Maki H., Nishihara T (2000). Behaviour of nonylphenol in sewage treatment plants in Japan biotransformation and ecotoxicity. *Water Science Technology*, 47(7- 8): 23-30.
- ❖ García Gómez, C.; Gortáres Moroyoqui P.; Drogui, P, (2011) Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. *Química Viva* [en línea], 10, 96-105: Disponible en: [Fecha de consulta: 27 de marzo de 2017]
- ❖ Gileadi E. (1993). *Electrode Kinetics for Chemists. Chemical Engineers and Materials Scientist*. Germany: Wiley-VCH. REFERENCIAS 71
- ❖ Hahn-Von C., Ricardo D., Grajales A., Duque G. M., Sernal L. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola. *Universidad de Caldas Colombia. Bol.cient.mus.hist.nat.* 13(2) ISSN 0123 3068: 89-105.
- ❖ Holt P., Barton G., Mitchell W., Mitchell A. (2002). A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemistry Engineering Aspects*. 211: 233-248
- ❖ Holt P.K; GW Barton; CA Mitchell. (2005). “The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology”. *Chemosphere*. 59: 355-367.
- ❖ Instructions manual on waste water treatment by DiaClen® unit. *WaterDiam*. Suiza.
- ❖ Jiménez, I. (2009). Desarrollo de metodología analítica para la determinación de tensoactivos y sus productos de degradación mediante diferentes técnicas separativa
- ❖ Armijos, Katherine, P. Espinoza, & B. A. Frontana, (2015). Estudio de la degradación electroquímica del nonilfenol etoxilato proveniente de la industria farmacéutica utilizando una celda diacell® con electrodos de diamante dopados con boro (bdd), *Escuela Politécnica Nacional de Ecuador*

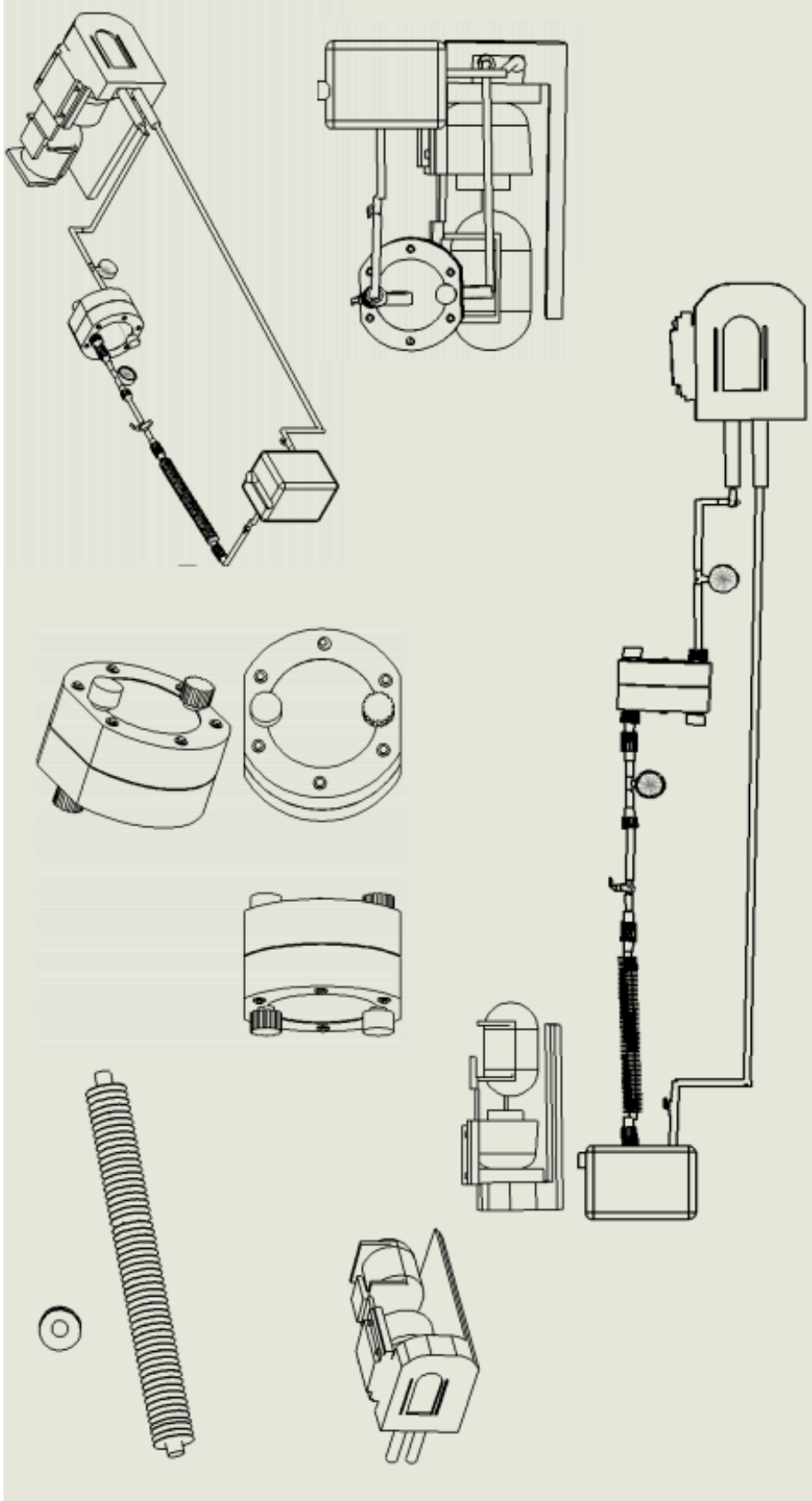
- ❖ Martin De Vidales Calvo M.J. (2015) Eliminación de contaminantes orgánicos persistentes de aguas residuales mediante oxidación electroquímica con ánodo de diamante dopado con boro. Memoria Doctoral. Universidad de Catilla-La Mancha, Ciudad Real, España
- ❖ Metcalf, Eddy (2003). Wastewater Engineering, New York U.S.A: Mc Graw Hill.
- ❖ Mollah M. Yousuf; Morkovsky P; Gomes J.A; Kesmez M; Parga J; Cocke D.L. (2004) “Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation”. Journal of Hazardous Materials. 114:199-210.
- ❖ Mollah M. Yousuf; R. Schennach; J.R. Parga; Cocke D.L. (2001). Electrocoagulation (EC)- science and applications. Journal of Hazardous Materials, 84: 29-41. REFERENCIAS 72
- ❖ Morales J.A.; Rodríguez L. (2000), La aplicación de instrumentos económicos para disminuir la contaminación del agua: experiencias en el uso de cuotas por descargas de aguas residuales Análisis Económico [En línea]. XV (primer semestre). Disponible en: [Fecha de consulta: 20 de marzo de 2017]
- ❖ Navarro S.; Fenoll J.; Vela N.; Ruiz E.; Navarro G. (2011) Selective redox degradation of chlorinated aliphatic compound by Fenton reaction in pyrite suspension. Chemosphere, 82: 1103-1108.
- ❖ Oller I, Malato S., Sanchez J. A. (2011) Combination of Advanced Oxidation Process and biological treatments for wastewater decontamination-A review. Science Total Environmental, 20: 4141-4166.
- ❖ Panizza M. (2010). Importance of Electrode Material in the Electrochemical Treatment of Wastewater Containing Organic Pollutants. In C. Comninellis, Guohua Chen (Eds), Electrochemistry for the Environmental. Springer
- ❖ Panizza M. (2010). Importance of Electrode Material in the Electrochemical Treatment of Wastewater Containing Organic Pollutants. In Ch. Comninellis, G. Chen (Eds), Electrochemistry for the Environmental. New York: Springer.
- ❖ Panizza M. and Cerisola G. (2005) Application of diamond electrodes to electrochemical processes. Electrochemical. 51: 191-199.

- ❖ Ponzo O.J.; Silva C. (2013). Evidence of reproductive disruption associated with neuroendocrine changes induced by UV-B filters, phthalates and nonylphenol during sexual maturation in rats of both gender. *Toxicology*, 311: 41-51.
- ❖ Quesada, I. (2009). Métodos no convencionales para el tratamiento de aguas contaminadas con productos farmacéuticos. Instituto Nacional Politécnico de Toulouse-Escuela Nacional Superior de Ingenieros en Artes Químicas y Tecnológicas. <http://ethesis.inptoulouse.fr/archive/00000912/01/quesada.pdf>
- ❖ Quezada, A. (2011). La Industria Farmacéutica en el Ecuador: mirando hacia delante. Espea ESPOL. <http://www.espae.espol.edu.ec/flip/2011-01-03/EyE.pdf>
- ❖ Raggio M.; Moron de Raggio N. (2006). Indice de la calidad del agua en cuenta del rio Amajac, Hidalgo, México, Diagnostico y Prediccion. *International Journal of Experimental Botany*, 75: 7571-7583.
- ❖ Rajeshwar K., Ibanez J. (1997) *Environmental Electrochemistry: Fundamentals and Applications in Pollution Abatement*. San Diego: Academic Press. REFERENCIAS 73
- ❖ Rajkumar D., Palanivelu K. (2003). Electrochemical Degradation of Cresols for Wastewater Treatment, *Industrial Engineering Chemistry Research*, 42: 1833-1839
- ❖ Ramalho R. S. 2003. *Tratamiento de aguas residuales*. London: REVERTÉ.
- ❖ Rivera F., Cruz Diaz M., Rivero E., González I. (2014). Elementos de análisis de reactores electroquímicos para su diseño y caracterización. En C. Barrera (Ed) *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. (p. 121). México: Reverte.
- ❖ Rodrigo A.; Cañizares P.; Llanos J.; Lobato J.; Martínez F.; Sáez C. (2014). Fundamentos de electroquímica ambiental. En C. Barrera (Ed), *Aplicaciones electroquímicas del tratamiento de aguas residuales*. México: Reverte.
- ❖ Rychen P., Provent C. Pupunat L., Hermant N. (2010) Domestic and Industrial Water Disinfection Using Boron-Doped Diamond Electrodes. In In Ch. Comninellis, G. Chen (Eds), *Electrochemistry for the Enviromental* (p. 149). New York: Springer.

- ❖ Saoresa A.; Guieysseb B.; Jeffersona B.; Cartmella E.; Lestera J.N. (2008). Nonylphenol in the environment: A critical review on occurrence, fate, toxicity and treatment in wastewaters. *Environment International*. 34: 1033- 1049
- ❖ Scott K. (1991). *Electrochemical Reactor Engineering*. San Diego: Academic Press.
- ❖ Scott K. (1995). *Electrochemical Process for Clean Technology*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- ❖ Tejocote M, Balderas P, Barrera C.E., Roa G. , Natividad R. (2010) Treatment of industrial effluents by a continuous system: Electrocoagulation – Activated sludge. *Bioresource Technology*, 101: 7761– 7766.
- ❖ Valdés J. (2008). Alternativa de remoción de los Nonilfenoles Etoxilados de aguas residuales industriales mediante un proceso acoplado: fisicoquímico, oxidación avanzada y adsorción. (Tesis maestría). Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro.
- ❖ Vazquez R, Marquez F, Ponce E, & Licea V. (2005). Nonylphenol, An Integrated Vision of a Pullutant.: Instituto de Biotecnología UNAM. CICESE. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Unverdidad autónoma de Bajo California. V
- ❖ Vogelsang C., Grung M., Jantsch T., Tollefsen K., Liltved H. (2006) Ocurrance and removal of selected organic micropollutants at mechanical, chemical and advanced wastewater treatment plants in Norway. *Water Research* 40 (19).
- ❖ Wang J., Farrell J. (2004). Electrochemical inactivation of triclosan with boron doped diamond film electrodes. *Enviromental Science and Technology*. 38: 5232-5237.
- ❖ Ying G.-G. (2006). Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment. *Environment International*., 32:417-431.
- ❖ Zinbron J.A.; Reardon K.F. (2009). Fenton’s oxidation of pentachlorophenol. *Water Reaserch*. 43: 1831-1840.

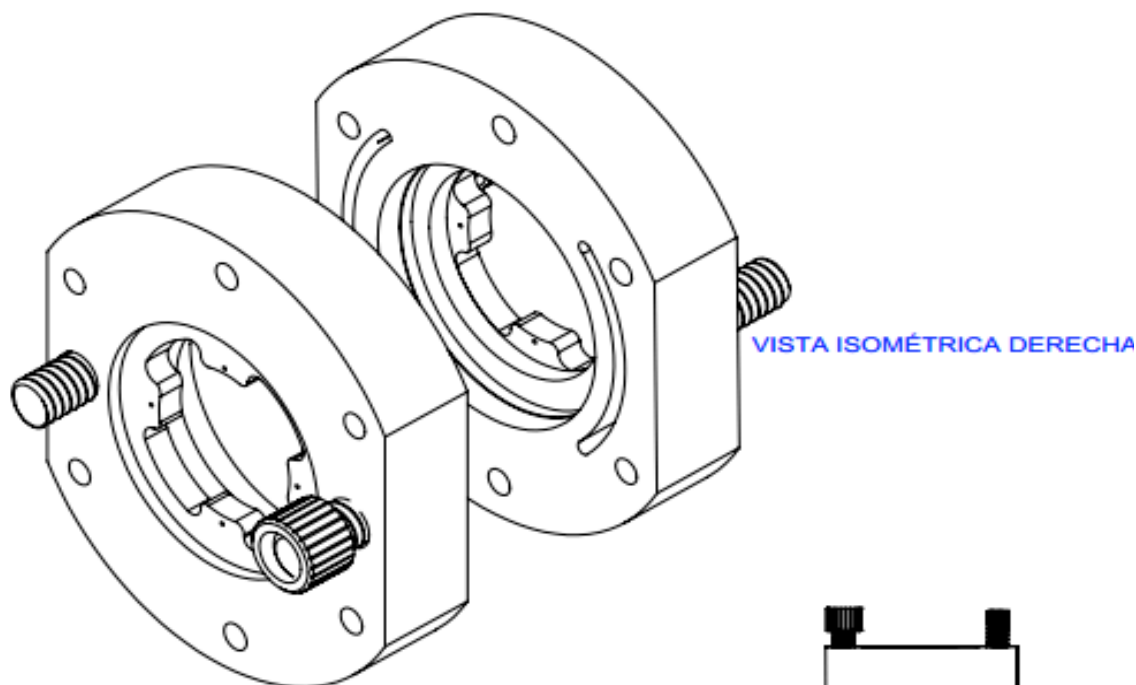
ANEXOS

ANEXO 1 “PLANO REACTOR ELECTROQUÍMICO SEMI-BACH”

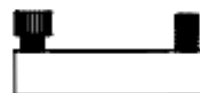


ACABADO: CCIQS UAEM - UNAM		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: +/0.05 LINEAL: +/0.05 ANGULAR: +/0.5	NO CAMBE LA ESCALA REVISIÓN
TÍTULO: Electrochemical System REACTOR SEMI-BATH		Laboratorio Electroquímica	
DISEÑO: José Luis Martínez	NOMBRE: José Luis Martínez	N° DE DIBUJO: Ensamblaje ESCALA: 10:1 HOJA 1 DE 1	
DIBUJ.: José Luis Martínez	FIRMA:		
APROB.:	MATERIAL:		
VERIF.:	AC. Inóx. / PPL / DDB		
FABR.: José Luis Martínez	PEO: 80 Kg		
VISTA ISOMÉTRICA		REACTOR SEMI-BATH	

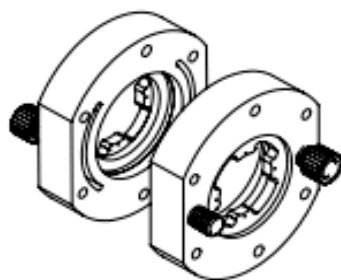
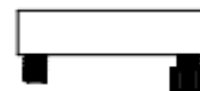
ANEXO 2 “PLANO CELDA ELECTROQUIMICA DIACLEAN ®”



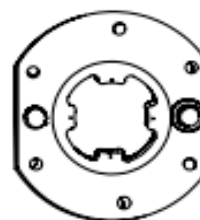
VISTA ISOMÉTRICA DERECHA




VISTA SUPERIOR E INFERIOR



VISTA ISOMÉTRICA IZQUIERDA



VISTA FRONTAL

	CENTRO CONJUNTO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA SUSTENTABLE UAEM - UNAM	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	LABORATORIO DE ELECTROQUÍMICA Y ELECTROSÍNTESIS CENTRO CONJUNTO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA SUSTENTABLE UAEM - UNAM
	NOMBRE E. ING. QUÍM. JOSÉ LUIS MARTÍNEZ PEÑA	FIRMA	TÍTULO: <h1 style="text-align: center; color: blue;">DIACELL LAYOUT</h1>
DIBUJ. VERIF. APROB. FASE. CALIF.		MATERIAL: CERAMICO; ELECTRODOS DDB	N.º DE DIBUJO ENSAMBLAJE
		PESO:	A4 HOJA 1 DE 1

ANEXO 3 “COSTOS DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS”



C.C.I.Q.S. UAEM-UNAM

Laboratorio de Electroquímica y Electrosíntesis
Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM
Carretera Toluca-Átlacomulco Km. 14.5 Toluca, Estado de México, C.P. 50200

ERROGACIONES		P-1
PROYECTO:	DEGRADACIÓN ELECTROQUÍMICA DE NPO	ELABORO: Pasante I.Q. José Luis Martínez F
DESCRIPCIÓN:	CÁLCULO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA NIVEL LAB	REVISO: Dr. Bernardo A. Frontana-Uribe
UBICACIÓN:	Laboratorio de C. Ambientales	APROBO:
FECHA:	19/09/2016	REV:

MATERIAL Y COTIZACIÓN:

1) TUBERIAS Y ACCESORIO:

1.1) LUGAR DE COMPRA	Home Depot Succ. Alfredo del Mazo Toluca, Edo. Méx.
1.2) COSTO TOTAL POR CONCEPTO [M.N.]	PAGADA
1.3) COSTO PAGADO [M.N.]	PAGADA
1.4) TOTAL A PAGAR [M.N.]	CUENTA CERRADA

2) CONECTORES DE NYLAMID PARA DIACELL:

2.1) LUGAR DE COMPRA	SERVICIOS INDUSTRIALES SISA S.A. DE C.V.
2.2) COSTO TOTAL POR CONCEPTO [M.N.]	2200 (IVA INCLUIDO)
2.3) COSTO PAGADO [M.N.]	PAGADA
2.4) TOTAL A PAGAR [M.N.]	2200

3) MANÓMETROS Y ACCESORIOS

3.1) LUGAR DE COMPRA	Home Depot Succ. Metepec Edo. Méx.
3.2) COSTO TOTAL POR CONCEPTO [M.N.]	450
3.3) COSTO PAGADO [M.N.]	PAGADO
3.4) TOTAL A PAGAR [M.N.]	450

4) SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

4.1) TUBO DE ACERO INOXIDABLE 304 ALETADO

NOM Ø	Ø (in)	LONGITUD	COSTO +IVA			
25MM	0.98	1 METRO	1200			

CONCEPTOS

COSTOS

3850 [M.N.]

Página 1