

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Estudios con Reconocimiento de Validez Oficial por Decreto Presidencial
Del 3 de Abril de 1981



**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES FENÓLICAS
SINTÉTICAS MEDIANTE PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN”**

TESIS:

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Ingeniería Química

PRESENTA

DORIAN PRATO GARCÍA

Director de Tesis: Dr. Rubén César Vásquez Medrano.

Lectora: MSc. Margarita Hernández Esparza.

Lector: Dr. Ciro Ortiz Estrada.

RESUMEN:

En el presente trabajo se hacen uso de los Procesos Avanzados de Oxidación (PAOs) en el tratamiento de soluciones sintéticas de fenol en condiciones próximas a la neutralidad, y usando concentraciones operativas en el rango de 200-800 mg/L de contaminante aproximadamente. Como requisito básico para considerar un proceso de tratamiento eficiente en la eliminación de compuestos recalcitrantes se hace necesario: la eliminación total del contaminante problema o la reducción de su concentración a un nivel tal que posibilite su descarga a una planta de tratamiento de aguas residuales sin provocar efectos negativos en el desempeño de los microorganismos presentes; la eliminación de los subproductos de degradación que puedan presentar un efecto tóxico sobre los sistemas biológicos convencionales y finalmente la eliminación de los reactivos empleados para el tratamiento que puedan causar algún nivel de inhibición en sistemas biológicos de postratamiento. (Inhibidores de aceptores de electrones por ejemplo, como es el caso del H_2O_2).

Se seleccionaron dos Procesos Avanzados de Oxidación: Los procesos asistidos con radiación solar con reactores solares CPC y un proceso de tipo electroquímico. Los procesos estudiados garantizaron la remoción del contaminante problema, pero sólo los procesos asistidos con radiación solar mediados con Ferrioxalato- H_2O_2 garantizaron un efluente que cumpliera con las restricciones mencionadas con anterioridad. Los procesos asistidos con $FeOx-H_2O_2$ alcanzaron mineralizaciones superiores al 83% como promedio, en reactores tipo batch en condiciones estancadas y de flujo cerrado para diferentes volúmenes de muestra tratada.

Adicionalmente se estudiaron los procesos fotoasistidos tipo foto Fenton usando como fuente de catalizador Fe^{3+} y Fe^0 (hierro cero valente) en el tratamiento de soluciones sintéticas de fenol de 500 mg/L a pH ácido en reactores batch operando en condiciones estancadas y en flujo cerrado respectivamente. En los casos estudiados se logró un efluente con grados de mineralización superiores al 98% después de una hora de tratamiento.

Para el caso del tratamiento electroquímico con electrodos DSA de soluciones sintéticas de fenol de 100 mg/L, se logró remover el contaminante objetivo después de 5h de tratamiento usando un electrodo de Ti/SnO_2 en un reactor tipo filtro prensa. El electrodo de $Ti/TaOx$, bajo las mismas condiciones operativas estudiadas fue incapaz de remover el fenol presente aún después de 5h de tratamiento.

Finalmente, se aplicaron los procesos fotoasistidos con $FeOx-H_2O_2$ y foto Fenton (Fe^0) en reactores CPC de flujo cerrado en el tratamiento de un lixiviado maduro de relleno sanitario. Para los procesos estudiados, se lograron remociones superiores al 56% en el color, expresado como una reducción en la absorbancia a 500 nm del lixiviado durante la primera hora de tratamiento y tasas de mineralización superiores al 28% después de 2h de tratamiento.

Palabras clave:

CPC, DSA, Estancado, Fenton, Ferrioxalato, Flujo cerrado, Radiación Solar.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SÍMBOLOS

1. INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.1 MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.2 SITIOS CONTAMINADOS Y PASIVOS AMBIENTALES POR RESIDUOS PELIGROSOS EN MÉXICO
; **ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.3 CONTAMINANTES Y CUERPOS DE AGUA. SITUACIÓN DE MÉXICO ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.4 GESTIÓN DEL AGUA EN MÉXICO..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.5 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN MÉXICO.. ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.6 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.6.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.7 TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.7.1 TRATAMIENTO DE MATERIA EN SUSPENSIÓN ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.7.2 TRATAMIENTO DE MATERIA DISUELTA ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.7.3 PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICOS..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.7.4 TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS. ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.7.5 OTROS TIPOS DE TRATAMIENTO..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.8 PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN (PAO₃). ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.8.1 VENTAJAS DE LOS PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN PAOS... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.9 PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN NO FOTOQUÍMICOS..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.9.1 PROCESOS ELECTROQUÍMICOS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.9.2 PROCESOS DE TRATAMIENTO CON OZONO (O₃)..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.9.3 PROCESOS DE TRATAMIENTO CON OZONO (O₃)-H₂O₂ ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.9.4 PROCESOS DE TRATAMIENTO FENTON ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.9.5 PROCESOS SONOQUÍMICOS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.10 PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN FOTOQUÍMICOS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.10.1 PROCESOS DE TRATAMIENTO CON OZONO (O₃)-UV ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.10.2 PROCESOS DE TRATAMIENTO H₂O₂-UV ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.10.3 PROCESOS DE TRATAMIENTO CON OZONO (O₃)-H₂O₂-UV ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.10.4 PROCESOS DE TRATAMIENTO FOTO FENTON Y FERRIOXALATO (FEOX)..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.10.7 PROCESOS DE TRATAMIENTO MEDIADOS CON FERRIOXALATO ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.11 PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN FOTOASISTIDOS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.11.1 PROCESOS FOTOCATALÍTICOS HOMOGÉNEOS – HETEROGÉNEOS... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.11.2 PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN ASISTIDOS POR RADIACIÓN SOLAR ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.11.3 ESTADO DEL ARTE DE LOS REACTORES SOLARES..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.12 APLICACIONES ACTUALES. ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.12.2 APLICACIONES POTENCIALES DE LOS PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.12.2.1 CONCENTRACIÓN MÁXIMA ORGÁNICA PERMISIBLE.. ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.12.2.2 CONTAMINANTES NO BIODEGRADABLES ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- 1.12.2.3 CONTAMINANTES PELIGROSOS EN MEZCLAS ORGÁNICAS COMPLEJAS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

1.13	CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2.	OBJETIVOS DEL PROYECTO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2.1	OBJETIVO GENERAL	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2.2	JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2.3	ESTADO DEL ARTE DE LOS PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN ..	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2.4	APORTES DEL PROYECTO AL ESTADO DEL ARTE.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.1	REACTIVOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.2	DESCRIPCIÓN DEL REACTOR BATCH (TIPO A).....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.3	DESCRIPCIÓN DE LOS FOTORREACTORES CPC DE FLUJO CERRADO ...	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.4	METODOLOGÍA DE LOS EXPERIMENTOS DE FOTOTRATAMIENTO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.5	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REACCIÓN ELECTROQUÍMICO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.6	RECOLECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.6.1	DETERMINACIÓN DE FENOL MEDIANTE CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA RESOLUCIÓN (HPLC)	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.6.2	DETERMINACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.7	OTRAS METODOLOGÍAS ANALÍTICAS EMPLEADAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.7.1	DETERMINACIÓN DE LA DBO ₅	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.7.2	PREPARACIÓN DE LA PRUEBA DE DBO ₅ Y DE TOXICIDAD RESPIROMÉTRICA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.7.3	DETERMINACIÓN DE LA DBO ₅	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.7.4	PRUEBA DE TOXICIDAD DEL EFLUENTE: MÉTODO RESPIROMÉTRICO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.7.5	CONCENTRACIÓN DE PERÓXIDO RESIDUAL EN EL EFLUENTE TRATADO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.7.6	DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA TOTAL INCIDENTE SOBRE EL REACTOR.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.8	DISEÑO DE LAS PRUEBAS Y DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LAS PRUEBAS DE FOTOTRATAMIENTO (REACTORES A-B-C).....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL TRATAMIENTO DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE FENOL MEDIANTE PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN FOTOASISTIDOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.1	TRATAMIENTO DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE FENOL MEDIANTE PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN A PH NATURAL ASISTIDOS CON FEOX/H ₂ O ₂	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.1.1	DEGRADACIÓN DE COMPUESTOS AROMÁTICOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.2	PRUEBAS PRELIMINARES DE FOTOTRATAMIENTO DE FENOL. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN OXALATO/HIERRO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.2.1	CTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN SOLUCIÓN EN LA VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN DEL FENOL.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.2.2	UDIO DE LA EFICIENCIA DE LAS RELACIONES OPERACIONALES DETERMINADAS A MAYOR CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTE	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.3	OTRATAMIENTO DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE FENOL MEDIANTE PROCESOS ASISTIDOS CON FEOX-H ₂ O ₂ EN REACTORES BATCH (TIPO A)	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.3.1	OTRATAMIENTO DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE FENOL MEDIANTE FEOX-H ₂ O ₂ EN SISTEMAS DE FLUJO CERRADO (REACTOR TIPO B).....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.4	OTRATAMIENTO DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE FENOL (400 PPM) MEDIANTE PROCESOS ASISTIDOS CON FEOX-H ₂ O ₂ EN REACTORES BATCH (TIPO A)....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.5	OTRATAMIENTO DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE FENOL (588 PPM) MEDIANTE PROCESOS ASISTIDOS CON FEOX-H ₂ O ₂ EN REACTORES BATCH (TIPO A)....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.6	OTRATAMIENTO DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE FENOL (733 PPM) MEDIANTE PROCESOS ASISTIDOS CON FEOX-H ₂ O ₂ EN REACTORES BATCH (TIPO A)....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

4.7 EBAS DE TRATAMIENTO DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE FENOL MEDIANTE FOTO FENTON CON HIERRO CERO VALENTE A PH ÁCIDO EN REACTORES DE FLUJO CERRADO (TIPO C).... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

4.8 TAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES FENÓLICAS SINTÉTICAS MEDIANTE PROCESOS ELECTROQUÍMICOS..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

4.9 LISIS CINÉTICO DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE FENOL MEDIANTE PROCESOS FOTOQUÍMICOS Y ELECTROQUÍMICOS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

4.9.1 TAMIENTO DE DATOS CINÉTICOS..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

4.9.2 ODO DE LOS TIEMPO DE VIDA MEDIA ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

4.10 ERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN PARA EL CASO DE FOTOTRATAMIENTO DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE FENOL MEDIANTE FEOX-H₂O₂ EN REACTORES BATCH (TIPO A)

;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

4.11 DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN PARA EL CASO DE TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE FENOL MEDIANTE ELECTRODOS DSA (REACTOR D) ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

4.12 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL FOTOTRATAMIENTO DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE FENOL MEDIANTE FEOX-H₂O₂ EN REACTORES BATCH (TIPO A) ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5. RELLENOS SANITARIOS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE UN RELLENO SANITARIO ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.2 REACCIONES DE DEGRADACIÓN ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.2.1 HIDRÓLISIS AEROBIA ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.2.2 HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.2.3 ACETOGÉNESIS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.2.4 METANOGÉNESIS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.2.5 MADURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.2.6 REACCIONES QUÍMICAS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.2.7 REACCIONES FÍSICAS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.3 COMPOSICIÓN DEL LIXIVIADO DE UN RELLENO SANITARIO..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.4 PROCESOS CONVENCIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.. ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.4.1 PROCESOS FÍSICOQUÍMICOS, COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN-SEDIMENTACIÓN..... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.4.2 PROCESOS POR MEMBRANAS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.4.3 PROCESOS DE TRATAMIENTO MEDIANTE SISTEMAS BIOLÓGICOS ... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.5 NORMATIVIDAD APLICABLE Y DESCRIPCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DE TEMIXCO, MORELOS1 ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.6 CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO DEL SITIO DE DISPOSICIÓN DE BASURAS EN TEMIXCO, MORELOS. ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.6.1 COLECTA DE LAS MUESTRAS ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.6.2 ESTUDIO PRELIMINAR DE BIODEGRADABILIDAD DEL LIXIVIADO.... ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

5.7 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DE LA MUESTRA I (LV1) MEDIANTE FEOX-H₂O₂ A PH NATURAL. ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

CONCLUSIONES ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

BIBLIOGRAFÍA ;**ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

INTRODUCCIÓN:

La problemática de la contaminación del agua a nivel mundial es un hecho bastante conocido debido a los graves casos reportados en los últimos veinte años. También son ampliamente conocidas las limitaciones manifiestas de los procesos instalados en la actualidad para la depuración de las aguas residuales de tipo industrial e inclusive urbano, debido a la presencia de sustancias altamente complejas que en un principio no pueden ser degradadas por microorganismos.

Por tal motivo surge la necesidad de la aplicación de nuevas tecnologías, capaces de operar de manera independiente o conjunta (sistemas híbridos) para el tratamiento de compuestos recalcitrantes. En éste punto, los Procesos Avanzados de Oxidación (PAOs) representan una alternativa interesante debido a la capacidad casi indiscriminada de degradar la materia orgánica a través de especies altamente oxidantes como los radicales HO^\bullet , los cuales pueden ser generados de manera eficiente por métodos: electroquímicos, sonoquímicos, fotoquímicos asistidos con radiación UV artificial o radiación solar natural, etc., en medios homogéneos y heterogéneos, en condiciones de acidez o basicidad. Otra ventaja inherente a éste tipo de tecnologías es la generación de un efluente mineralizado o por lo menos biocompatibilizado y con una mínima producción de residuos al final del proceso de tratamiento.

Dentro de éste grupo de tecnologías se encuentra los procesos tipo Fenton (convencionales o fotoasistidos), que de manera eficiente logran eliminar compuestos biorecalcitrantes que serían de otra manera imposibles de tratar en sistemas biológicos naturales o artificiales. Las ventajas del método son varias: el Fe (II) es abundante y no tóxico, el peróxido de hidrógeno es fácil de manejar y ambientalmente benigno. No se forman compuestos clorados como en otras técnicas oxidantes, y no existen limitaciones de transferencia de masa por tratarse de un sistema homogéneo. Los sistemas Fenton presentan como limitación la necesidad de operar en condiciones de acidez y un cambio en la misma produce efectos negativos en la eficiencia debido a la poca solubilidad de los iones Fe(III) generados en el tratamiento. Como alternativa a los procesos foto Fenton, el sistema tipo Ferrioxalato permite una ampliación del intervalo de operación (pH) hasta condiciones próximas a la neutralidad debido a la complejación del hierro-oxalato. Además, estos complejos presentan una fuerte absorción a longitudes de onda superiores a los 300nm, garantizando un mejor aprovechamiento del espectro solar.

El presente trabajo se orienta a la búsqueda de un principio de solución para la problemática de las aguas residuales industriales con cargas medianas-altas de contaminantes. Para lograr este objetivo se buscará a partir del tratamiento de un compuesto de referencia como el fenol, la determinación de las condiciones operativas de procesos fotoasistidos mediados con $\text{FeOx-H}_2\text{O}_2$ en condiciones próximas a la neutralidad que garanticen la mineralización o biocompatibilización del efluente tratado. Adicionalmente se estudia y compara la eficiencia en la remoción de fenol con procesos electroquímicos operando en flujo cerrado con electrodos dimensionalmente estables (DSA).

La tesis esta organizada en cinco capítulos. En el capítulo uno se hace una breve introducción a los procesos de tratamiento de aguas residuales industriales (convencionales y avanzados) y se muestran las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, teniendo como objetivo final un análisis de aplicabilidad al tratamiento de aguas residuales fenólicas. Igualmente se busca presentar de manera breve el proceso de gestión de las aguas residuales (industriales y domésticas) en México y el efecto que éstas causan sobre el entorno.

En el capítulo dos se definen las metas del trabajo y la metodología de investigación, para garantizar la selección de una alternativa de tratamiento aceptable desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.



En el capítulo tres se presentan las técnicas analíticas usadas para el seguimiento del compuesto orgánico seleccionado (fenol) así como sus productos de degradación principales: ácidos carboxílicos, quinonas y benzoquinonas. Asimismo, el capítulo incluye la descripción de los reactores utilizados y la secuencia experimental empleada durante las pruebas fotocatalíticas y electroquímicas.

El capítulo cuatro está dedicado a la presentación y discusión de los resultados obtenidos para el tratamiento de soluciones sintéticas de fenol mediante procesos avanzados de oxidación de tipo fotoquímico y electroquímico.

Finalmente, en el capítulo cinco se presenta un ejemplo de aplicación para los procesos de fototratamiento estudiados en los capítulos anteriores. La matriz de trabajo seleccionada fue un lixiviado maduro, generado en un tiradero de basura ubicado en Temixco, Morelos.

ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SÍMBOLOS

A:	Área [L^2].
AH:	Ácidos húmicos.
AF:	Ácidos fúlvicos.
BPC:	Bifenilo policlorado.
C:	Carbono.
$^{\circ}C$:	Grado centígrado.
CCP:	Colector Cilindro Parabólico.
CIEMAT:	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
COD:	Carbono orgánico disuelto [mg C/L].
CONAGUA:	Comisión Nacional del Agua.
COT:	Carbono orgánico total [mg C/L].
COV:	Compuesto Orgánico Volátil.
CPC:	Colector parabólico compuesto.
CT:	Carbono total [mg C/L].
DSA:	Dimensionalmente Estable.
DBO ₅ :	Demanda biológica de oxígeno a 5 cinco días. [mg O ₂ /L].
DQO:	Demanda química de oxígeno [mg O ₂ /L].
E ⁰ :	Potencial Estándar de Electrodo [V].
E _{celda} :	Potencial de celda.
ENH:	Electrodo Normal del Hidrógeno.
F:	Constante de Faraday 96500 [C/mol]
g:	gramo.
GC:	Cromatografía de gases.
h:	Hora.
ICA:	Índice de Calidad del Agua.
HPLC:	Cromatografía Líquida de Alta Resolución.
HU:	Huminas.
INE:	Instituto Nacional de Ecología.
k:	Constante de velocidad.
kg:	Kilogramo.
L:	Litro.
m:	Metro.
M:	Concentración molar [mol/L].
MS:	Espectrofotometría de masas.
N:	Normalidad [Equivalente gramo/L]
nm:	Nanómetro
OR:	Osmosis Inversa.
PAO:	Procesos Avanzado de Oxidación.
PM:	Peso molecular [g/mol].
ppm:	Partículas por millón [mg/L]
PROFEPA:	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.
PSA:	Plataforma Solar de Almería.
R ² :	Coefficiente de correlación.
s:	Segundo.
SEMARNAT:	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SSV:	Sólidos Suspendidos Volátiles.
TRH:	Tiempo de retención hidráulica [t].
UV:	Radiación ultravioleta.
UV _G :	Radiación ultravioleta Global.
V:	Voltio.
V:	Volumen [L^3].
W:	Vatio.