

# ÍNDICE

---

	Pág.
<b>1. PRESENTACIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CUESTIONES INICIALES .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. PERSPECTIVA HISTÓRICA DE LA PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. EL AGUA. UN RECURSO ESCASO PARA EL SIGLO XXI.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3. NORMATIVA.....</b>	<b>12</b>
2.3.1. Legislación Comunitaria.....	12
2.3.2. Legislación Estatal.....	14
2.3.2.1. Vertidos a las Aguas Continentales.....	15
2.3.2.2. Vertidos a Aguas Marinas.....	16
2.3.3. Legislación Autonómica.....	16
2.3.4. Legislación Local.....	17
<b>2.4. LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LAS AGUAS RESIDUALES QUE CONTIENEN COLORANTES TEXTILES.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5. REFERENCIAS .....</b>	<b>27</b>
<b>3. ESTADO DE LA CUESTIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. REFERENCIAS .....</b>	<b>47</b>
<b>4. HIPÓTESIS DE TRABAJO .....</b>	<b>59</b>

---

## ÍNDICE

---

<b>4.1. REFERENCIAS.....</b>	<b>60</b>
<b>5. OBJETIVOS.....</b>	<b>65</b>
<b>6. JUSTIFICACIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO .....</b>	<b>69</b>
<b>7. MÉTODOS Y DISPOSITIVO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>77</b>
<b>7.1. DISOLUCIONES Y REACTIVOS.....</b>	<b>77</b>
7.1.1. Colorantes .....	77
7.1.2.- Reactivos Generales.....	81
<b>7.2. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN.....</b>	<b>85</b>
7.2.1. Voltametría Cíclica.....	85
7.2.2. Espectroscopía Infrarroja (FTIR-ATR).....	87
7.2.3. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).....	90
7.2.4. Energía Dispersiva de Rayos X (EDX) .....	91
7.2.5. Espectroscopía Fotoelectrónica de Rayos X (XPS).....	92
<b>7.3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL.....</b>	<b>94</b>
7.3.1. Cromatografía Líquida de Alta Resolución con Detección Diodo Array (HPLC-DAD).....	94
7.3.2. Espectrofotometría UV-Visible.....	98
7.3.3. Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (GC-MS).....	99
7.3.3.1 Proceso de Extracción en Fases Sólida.....	100

---

## ÍNDICE

---

7.3.3.2. Proceso de Derivatización.....	101
<b>7.4. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS.....</b>	<b>102</b>
7.4.1. Analizador de Carbono Orgánico Total (COT).....	103
7.4.2. Analizador de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	104
<b>7.5. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>105</b>
7.5.1. Voltametría Cíclica.....	105
7.5.1.1. Célula Electroquímica.....	106
7.5.1.2. Electroodos. Descripción y Tratamiento.....	107
7.5.2. Electrólisis.....	109
7.5.2.1. Células Electroquímicas.....	111
7.5.2.2. Electroodos. Descripción y Tratamiento.....	115
7.5.2.3. Parámetros Estudiados.....	118
<b>7.6. REFERENCIAS.....</b>	<b>121</b>
<b>8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>127</b>
<b>8.1. CARACTERIZACION ELECTROQUÍMICA DE LOS ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLE .....</b>	<b>127</b>
8.1.1. Caracterización Voltamétrica en Disolución de Electrolito Soporte.....	127
8.1.2. Caracterización Voltamétrica en Disolución de Colorante C.I. Reactive Orange 4.....	130
8.1.3. Influencia de la Concentración.....	131
8.1.4. Estudio de la Formación de Especies Adsorbidas sobre la Superficie....	134

---

## ÍNDICE

---

8.1.5. Estudio de Posibles Fragmentos Resultantes de la Degradación del C.I. Reactive Orange 4.....	137
8.1.6. Análisis Cinético del Proceso de Reducción del C.I. Reactive Orange 4 sobre el Electrodo de Acero Inoxidable.....	147
8.1.7. Referencias.....	152
<b>8.2. CARACTERIZACION DE LOS ANODOS DE Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb-Pt.....</b>	<b>153</b>
8.2.1. Voltametría Cíclica.....	153
8.2.2. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Microanálisis de Energía Dispersiva de Rayos X (EDX) .....	157
8.2.3. Referencias.....	163
<b>8.3. TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO DEL C.I. REACTIVE ORANGE 4 EN UNA CELULA TIPO H.....</b>	<b>165</b>
8.3.1. Influencia del Tratamiento Electroquímico en la Mineralización y en la Oxidación del C.I. Reactive Orange 4.....	165
8.3.2. Eficiencia en Corriente Promedio (ECP) y Eficiencia en Corriente Promedio por unidad de DQO Inicial (ECP/DQO <sub>0</sub> ).....	169
8.3.3. Estado de Oxidación Promedio (EOP) y Estado de Oxidación del Carbono (EOC).....	173
8.3.4. Valoración de la Decoloración Obtenida Mediante Técnicas Espectroscópicas.....	174
8.3.4.1. Espectroscopía UV-Visible.....	174
8.3.4.2. Espectroscopía Infrarroja (FTIR-ATR).....	180
8.3.5. Análisis Mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). Cinética de Decoloración.....	184
8.3.6. Análisis de la Disolución y de la Superficie del Cátodo tras la Reducción Electroquímica.....	202
8.3.6.1. Análisis de la Disolución Mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC).....	203
8.3.6.2. Análisis de la Disolución Mediante Espectroscopía UV-Visible.....	206

---

## ÍNDICE

---

8.3.6.3. Caracterización del Depósito Formado Sobre la Superficie del Cátodo Mediante Espectroscopía Infrarroja (FTIR-ATR) .....	208
8.3.6.4. Caracterización del Depósito Formado Sobre la Superficie del Cátodo Mediante Espectroscopía Fotoelectrónica de Rayos X (XPS).....	210
8.3.7. Referencias.....	216
<b>8.4. TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO DEL C.I. REACTIVE ORANGE 4 EN UNA CELULA FILTRO PRENSA.....</b>	<b>220</b>
8.4.1. Influencia del Tratamiento Electroquímico en la Mineralización y en la Oxidación del C.I. Reactive Orange 4.....	220
8.4.2. Eficiencia en Corriente Promedio (ECP) y Eficiencia en Corriente Promedio por unidad de DQO Inicial (ECP/DQO <sub>0</sub> ).....	224
8.4.3. Valoración de la Decoloración Obtenida Mediante Espectroscopía UV-Visible .....	226
8.4.4. Análisis Mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). Cinética de Decoloración.....	228
8.4.5. Análisis de la Disolución tras la Reducción Electroquímica en una Célula Filtro Prensa.....	233
8.4.5.1. Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) y Espectroscopía UV-Visible.....	233
8.4.5.2. Cromatografía de Gases y Espectrometría de Masas.....	236
8.4.6. Referencias.....	257
<b>8.5. TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE LOS COLORANTES BIFUNCIONALES C.I. REACTIVE BLACK 5 Y C.I. REACTIVE YELLOW 138:1 EN REACTOR FILTRO PRENSA.....</b>	<b>258</b>
8.5.1. Influencia del Tratamiento Electroquímico en la Mineralización y en la Oxidación .....	258
8.5.2. Estado de Oxidación Promedio (EOP) y Estado de Oxidación del Carbono (EOC).....	263
8.5.3. Eficiencia en Corriente Promedio (ECP) y Eficiencia en Corriente Promedio por unidad de DQO Inicial (ECP/DQO <sub>0</sub> ).....	275

---

## ÍNDICE

---

8.5.4. Valoración de la Decoloración Mediante Espectroscopía UV-Visible y Cinética de Decoloración.....	<b>288</b>
8.5.5. Análisis Mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)....	<b>303</b>
8.5.6. Referencias.....	<b>325</b>
<b>9. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>331</b>
<b>10. EXPERIENCIAS FUTURAS Y NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>337</b>
<b>10.1. REFERENCIAS.....</b>	<b>339</b>

---