

## Capítulo 1: Introducción

<b>1.1. El sistema energético actual</b> .....	<b>1</b>
1.1.1. Consumo mundial de energía .....	2
1.1.2. Problemática del sistema energético actual .....	5
1.1.2.1. Problemas de contaminación .....	6
1.1.2.2. Agotamiento de los combustibles fósiles .....	9
1.1.2.3. Problemas socio-económicos .....	10
1.1.3. Legislación y políticas energéticas y medioambientales.....	11
<b>1.2. El hidrógeno como alternativa energética</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3. Métodos de producción de hidrógeno</b> .....	<b>16</b>
1.3.1. A partir de combustible fósiles .....	18
1.3.1.1. <i>Reformado</i> .....	18
1.3.1.2. Oxidación parcial .....	20
1.3.1.3. <i>Reformado autotérmico</i> .....	20
1.3.1.4. <i>Gasificación del carbón</i> .....	21
1.3.2. A partir de fuentes de energía renovables.....	22
1.3.2.1. Electrólisis .....	22
1.3.2.2. <i>Ciclo azufre-yodo</i> .....	22
1.3.2.3. <i>Descomposición térmica directa del agua (termólisis)</i> .....	23
1.3.2.4. <i>Ciclos termoquímicos</i> .....	24
1.3.2.5. <i>Fermentación bioquímica</i> .....	24
1.3.2.6. <i>Fotocatálisis y fotoelectrólisis</i> .....	25
1.3.2.7. <i>A partir de biomasa</i> .....	26
1.3.3. Comparación de las técnicas .....	27
<b>1.4. Aplicaciones del hidrógeno</b> .....	<b>29</b>
1.4.1. Usos convencionales del hidrógeno .....	30
1.4.2. Usos energéticos del hidrógeno .....	32
<b>1.5. Almacenamiento</b> .....	<b>35</b>
<b>1.6. Seguridad</b> .....	<b>37</b>
<b>1.7. Conclusiones</b> .....	<b>38</b>
<b>1.8. Referencias</b> .....	<b>40</b>

## Capítulo 2: Electrólisis del agua

<b>2.1. Introducción</b> .....	<b>43</b>
<b>2.2. Analogía eléctrica de las celdas de electrólisis</b> .....	<b>46</b>
<b>2.3. Aspectos termodinámicos</b> .....	<b>47</b>
2.3.1. Potencial de celda teórico .....	48
2.3.2. Eficiencia de la celda.....	51
<b>2.4. Aspectos cinéticos</b> .....	<b>52</b>
<b>2.5. Reacción de evolución de hidrógeno (REH)</b> .....	<b>56</b>
2.5.1. Determinación de la etapa controlante de la velocidad ( <i>rds</i> ) de la REH.....	57
2.5.1.1. <i>Reacción de Volmer rds</i> .....	58
2.5.1.2. <i>Reacción de Heyrovsky rds</i> .....	59
2.5.1.3. <i>Reacción de Tafel rds</i> .....	61
<b>2.6. Electrocatálisis de la REH. Métodos para reducir el sobrepotencial de electrodo</b> .....	<b>62</b>
2.6.1. Aumento del área superficial.....	63
2.6.2. Materiales de cátodo para la REH.....	64
<b>2.7. Parámetros empleados en la evaluación de la actividad catalítica de los electrodos</b> .....	<b>66</b>
<b>2.8. Tendencias futuras en la electrólisis del agua</b> .....	<b>67</b>
2.8.1. Electrodos .....	67
2.8.2. Electrolizadores.....	68
2.8.3. Electrolito y aditivos.....	68
2.8.4. Tratamiento de las burbujas .....	69
<b>2.9. Conclusiones</b> .....	<b>69</b>
<b>2.10. Referencias</b> .....	<b>70</b>

## Capítulo 3: Objetivos

<b>3.1. Objetivos</b> .....	<b>77</b>
-----------------------------	-----------

## Capítulo 4: Metodología Experimental

<b>4.1. Preparación de los electrodos</b> .....	<b>81</b>
4.1.1. Material de sustrato .....	81
4.1.2. Pretratamiento del sustrato .....	84
4.1.3. Principios de la electrodeposición .....	86
<b>4.2. Caracterización de los electrodos</b> .....	<b>95</b>
4.2.1. Caracterización superficial .....	95
4.2.1.1. <i>Microscopía electrónica de barrido, SEM y FESEM</i> .....	95
4.2.1.2. <i>Microscopía láser confocal</i> .....	98
4.2.2. Caracterización electroquímica. Técnicas .....	101
4.2.2.1. <i>Disolución de trabajo</i> .....	101
4.2.2.2. <i>Curvas de polarización de estado estacionario</i> .....	102
4.2.2.3. Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) .....	107
4.2.2.4. <i>Curvas de descarga de hidrógeno</i> .....	114
4.2.2.5. <i>Ensayos galvanostáticos</i> .....	117
<b>4.3. Referencias</b> .....	<b>118</b>

## Capítulo 5: Resultados y Discusión

<b>5.1. Electrodos obtenidos mediante plantilla dinámica con electrodeposición o co-electrodeposición directa</b> .....	<b>123</b>
5.1.1. Introducción .....	123
5.1.2. Electrodo de níquel .....	124
5.1.2.1. <i>Síntesis del electrodo</i> .....	124
5.1.2.2. <i>Caracterización superficial</i> .....	125
5.1.2.3. <i>Caracterización electroquímica</i> .....	127
5.1.2.3.a. <i>Curvas de polarización de estado estacionario</i> .....	127
5.1.2.3.b. <i>Espectroscopía de impedancia electroquímica</i> .....	132
5.1.3. Electrodos basados en aleaciones de níquel .....	149
5.1.3.1. <i>Electrodos Ni-Co</i> .....	149
5.1.3.1.a. <i>Caracterización superficial</i> .....	150
5.1.3.1.b. <i>Caracterización electroquímica</i> .....	154
5.1.3.2. <i>Electrodos Ni-Mo</i> .....	174
5.1.3.2.a. <i>Caracterización superficial</i> .....	175
5.1.3.2.b. <i>Caracterización electroquímica</i> .....	177

## ÍNDICE

5.1.4. Conclusiones.....	180
5.1.4.1. <i>Obtención de los electrodos</i> .....	180
5.1.4.2. <i>Caracterización electroquímica</i> .....	181
<b>5.2. Electrodos obtenidos mediante doble plantilla electroquímica .....</b>	<b>182</b>
5.2.1. Introducción .....	182
5.2.2. Obtención de la plantilla. Influencia del tiempo de deposición de Cu.....	183
5.2.3. Efecto de aditivos en el baño de electrodeposición .....	190
5.2.3.1. <i>HCl</i> .....	190
5.2.3.2. <i>Amonio</i> .....	197
5.2.4. Electrodo de níquel .....	200
5.2.5. Electrodos Ni-Mo .....	208
5.2.5.1. <i>Caracterización superficial</i> .....	209
5.2.5.2. <i>Caracterización electroquímica</i> .....	211
5.2.5.2.a. <i>Curvas de polarización de estado estacionario</i> .....	211
5.2.5.2.b. <i>Espectroscopía de impedancia electroquímica</i> .....	216
5.2.6. Conclusiones.....	226
5.2.6.1. <i>Obtención de los electrodos</i> .....	226
5.2.6.2. <i>Caracterización electroquímica</i> .....	227
<b>5.3. Referencias.....</b>	<b>227</b>

## Capítulo 6: Comparación de Resultados y Evaluación de Eficiencias Energéticas

<b>6.1. Introducción.....</b>	<b>235</b>
<b>6.2. Comparación de la caracterización electroquímica .....</b>	<b>236</b>
<b>6.3. Caracterización de los electrodos mediante curvas de descarga de hidrógeno .....</b>	<b>243</b>
<b>6.4. Caracterización de los electrodos mediante ensayos galvanostáticos.....</b>	<b>247</b>
<b>6.5. Eficiencia energética de los electrodos caracterizados .....</b>	<b>256</b>
<b>6.6. Conclusiones.....</b>	<b>258</b>
<b>6.7. Referencias.....</b>	<b>260</b>

## Capítulo 7: Conclusiones

<b>7.1. Introducción</b> .....	<b>263</b>
<b>7.2. Obtención de los electrodos</b> .....	<b>264</b>
7.2.1. Electrodos obtenidos mediante plantilla dinámica con electrodeposición o co-electrodeposición directa .....	264
7.2.2. Electrodos obtenidos mediante doble plantilla electroquímica .....	265
<b>7.3. Caracterización electroquímica</b> .....	<b>266</b>
7.3.1. Electrodos obtenidos mediante plantilla dinámica con electrodeposición o co-electrodeposición directa .....	266
7.3.2. Electrodos obtenidos mediante doble plantilla electroquímica .....	267
<b>7.4. Comparación y evaluación de eficiencias energéticas</b> .....	<b>268</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>271</b>
<b>Resum</b> .....	<b>273</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>275</b>

